

## **Fotovoltaisk Statusnotat 1**

Sørensen, Bent

*Publication date:*  
1993

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

*Citation for published version (APA):*  
Sørensen, B. (1993). *Fotovoltaisk Statusnotat 1*. Roskilde Universitet. <http://milne.ruc.dk/lmfufaTekster/>

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

### **Take down policy**

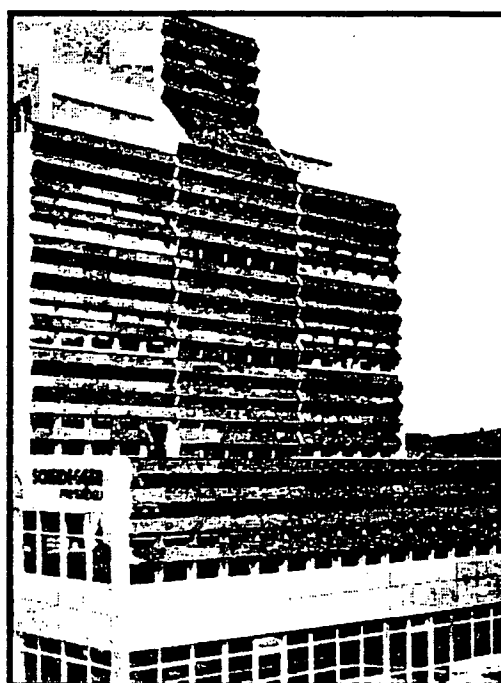
If you believe that this document breaches copyright please contact [rucforsk@kb.dk](mailto:rucforsk@kb.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# FOTOVOLTAISK STATUSNOTAT 1

Bent Sørensen

Februar 1993

Rapport fra fase 1 af projektet  
"Internationalt fotovoltaisk samarbejde",  
der udføres for Energistyrelsen under  
kontrakt nr. 51181/92-0075.



TEKSTER fra

TEXTS from

**IMFUFA**

**ROSkilde UNIVERSITETSCENTER**

INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES  
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

**ROSkilde UNIVERSITY**

**INSTITUTE 2**

ROSKILDE UNIVERSITY, P O BOX 260, DK-4000 ROSKILDE, DENMARK  
TEL: (+45) 46 757 711, FAX: (+45) 46 755 065, TELEX 43158.  
INSTITUTE OF STUDIES IN MATHEMATICS AND PHYSICS, AND THEIR FUNCTIONS  
IN EDUCATION, RESEARCH AND APPLICATION.

25. FEBRUAR 1993

FOTOVOLTAISK STATUSNOTAT 1

by Bent Sørensen

IMFUFA text no. 241, 54 pages.

ISSN 0106 6242

---

ENGLISH ABSTRACT:

The purpose of this report series is to inform Danish interest groups on the progress in photovoltaic research and developments abroad. The present report focusses on R&D in Australia and the United States. A special discussion on the scope for further increasing the efficiency of various types of solar cells is featured. Problems encountered during testing of photovoltaic technology integrated into utility systems are described. They include system losses, safety issues and long-term degradation of plastic coatings. Another issue covered is the choice between centralized PV-plants and decentralized mounting on building rooftops and facades. This work is supported by the Danish Energy Agency under contract 51181/92-0075

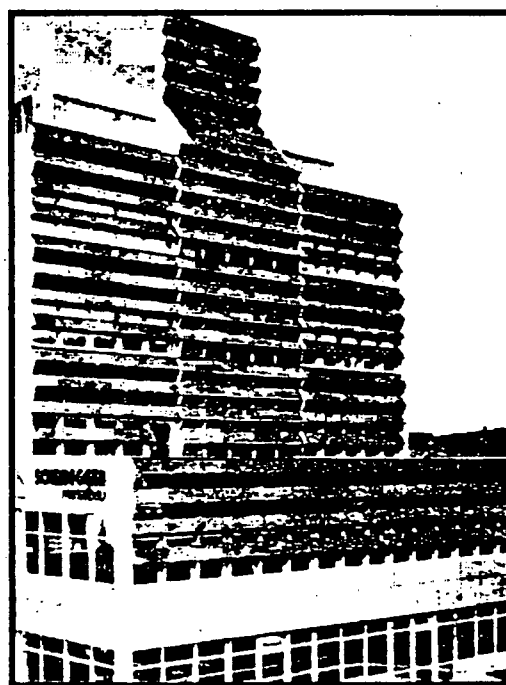
frontpage photo: Photovoltaics on office building facade in Kirchberg, Switzerland.

# FOTOVOLTAISK STATUSNOTAT 1

Bent Sørensen

Februar 1993

Rapport fra fase 1 af projektet  
"Internationalt fotovoltaisk samarbejde",  
der udføres for Energistyrelsen under  
kontrakt nr. 51181/92-0075.





## Forord

Denne rapport er knyttet til et projekt der bl.a. sigter på "videnhjemtagning", altså at fremstille vigtige landvindinger på solcelleområdet gjort i udlandet, for danske interessenter. Interessenterne er ikke så meget forskere på solcelleområdet (de formodes selv at opsøge resultaterne i den internationale fagpresse eller gennem personlige kontakter), som mere udviklere og bredt interesserede folk, som ikke har mulighed for eller tid til selv at opsøge originallitteraturen. Også beslutningstagere på det bevillingsmæssige område kan have interesse af dette forsøg på at granske et helt område og give et overskueligt kondensat af nogle vigtige træk.

Det andet område, der sigtes på, er konkret samarbejde med solcelle-forskningsgrupper i udlandet. Synspunktet er her, at videnhjemtagning i sig selv ikke er interessant, hvis ikke færdigheder samtidigt overføres til modtageren. Og dette kræver et mere ligeværdigt samarbejde. Dette er også i mange tilfælde nødvendigt for overhovedet at få adgang til de nyeste forskningsresultater. Noget for noget! Vi må tilføre vor viden før vi kan vente at de udenlandske forskningscentre åbner op for de dybere lag af deres erfaringer. Her er det klart, at det danske bidrag hovedsageligt vil ligge på det område, hvor vi har opbygget en ledende forskningsindsats, nemlig systemaspekter ved solcelleteknologien. Den danske indsats på detailområdet de enkelte celletyper og disses optimering har været yderst beskedet, og der har hidtil været en fornemmelse af at Danmark vist lå for langt mod nord til at kunne udnytte solcelleteknologien.

Dette skal mere præcist forstås sådan, at et stykke tid efter, at solcelle-anlæg måtte blive rentable på himmelstrøg nærmere Ækvator, vil de stadig være urentable hos os. Dette argument er imidlertid tvivlsomt. Hvis det var rigtigt, ville det jo også gælde for solvarme, som ikke desto mindre har bidt sig ganske godt fast i Danmark, sammenlignet med en række lande syd for os. Det hænger naturligvis sammen med, at vores varmeanvendelse ofte er mere effektiv end f.eks. i Middelhavslandene, og forskellen i det nødvendige solfangerareal derfor mindre end man kunne tro. Dette sammenholdt med, at gode teknologiske løsninger er udviklet (selektive overflader, mm.), som har muliggjort et udbud af attraktive produkter på det danske solvarme-marked. Ikke desto mindre er der jo en forskel på solindfaldet på forskellige breddegrader, som især giver sig tilkende om vinteren. Et dansk solenergianlæg skal stadig tjene sig ind på færre måneder end et ægyptisk.

Denne diskurs til solvarmen antyder, at der potentielt er betydelige muligheder også for solbaseret elektricitet, hvis vi griber sagen rigtigt an. Dertil behøver vi ikke blot videnhjemtagning, men i lige så høj grad videnbearbejdning og selvstændig udvikling af ideer, som retter sig mod danske forhold. Det er det konkrete formål med denne rapport: at videregive ammunition til sådan videre idévirksomhed, som kan styrke den spæde danske solcellevirksomhed og måske lokke nye skuespillere på banen.

Det er håbet at denne første rapport, som koncentrerer sig om udviklingen i Australien og USA, kan følges op af tilsvarende beretningen fra andre af de førende lande indenfor solcelle-forskningen (Japan, Schweiz, Tyskland, Holland, osv.), og kan vende tilbage til de allerede omtalte lande, efterhånden som nye gennembrud eller interessante udviklinger finder sted. Denne rapports undersøgelser er baseret på samarbejde med og gensidige besøg af forskere i de omhandlede lande, støttet af en bevilling fra Energistyrelsens 7. kontor, og udgør samtidig afrapportering af dette projekt "Internationalt fotovoltaisk samarbejde, fase 1".

## FOTOVOLTAISK STATUSRAPPORT 1

### Indhold

Forord	5
<b>1. INDLEDNING</b>	
1.1. Højeffektive solceller - en historisk oversigt.	8
1.2. Nettilsluttede solceller: Centrale anlæg eller bygningsintegrerede moduler.	15
<b>2. PROJEKTER</b>	
2.1. Australien	17
2.1.1. University of New South Wales, Department of Electrical Engineering and Computer Science. Centre for Photovoltaic Devices and Systems.	17
2.1.1.1. Krystallinske celler med høj effektivitet.	18
2.1.1.2. Systemaspekter	19
2.2. USA	21
2.2.1. SunPower, Sunnyvale, California	21
2.2.2. Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California	24
2.2.3. PVUSA, Davis, California	25
2.2.4. Pacific Power and Gas Utility, Research Division, San Ramon, California	31
2.2.5. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado	34
2.2.5.1. Afprøvning af celler og moduler	34
2.2.5.2. Materialeteknologisk forskning	38
2.2.5.3. Miljøeffekter ved polykrystallinske cellers produktion og brug	38
2.2.5.4. Degradering af PV plastfilm	38
2.2.5.5. Markedsføring af PV systemer og produkter	41
2.2.6. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia	43
<b>3. REFLEKTIONER</b>	48
<b>LITTERATUR</b>	50
Appendix	53



## 1. INDLEDNING

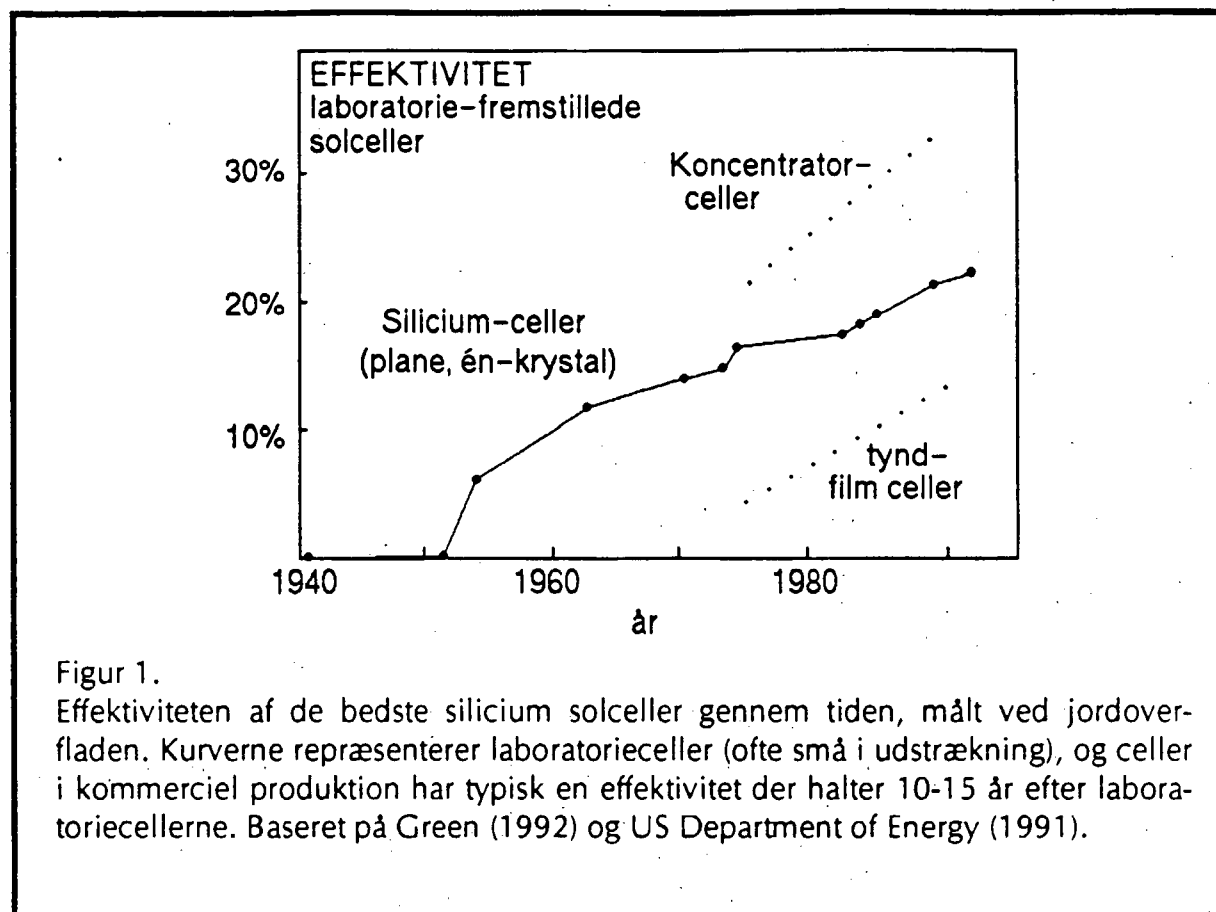
### 1.1. Højeffektive solceller - en historisk oversigt.

Figur 1 viser effektiviteten af de bedste laboratorie-fremstillede krystallinske silicium-celler gennem tiden. Denne udvikling er opnået gennem en række innovationer, som også har medført en stigende kompleksitet i cellernes struktur. Dette illustreres klart af figurerne 2-5.

Den teoretiske grænse for effektiviteten af en silicium-celles omdannelse af det spektrum af sollys, som mødes ved jordoverfladen, til elektricitet, er ca. 30% (Sørensen, 1979). Fra Edmond Bequerel's opdagelse af den fotovoltaiske effekt i 1839 til Bell Laboratoriernes gennembrud i 1954 var effektiviteten langt under en procent. Gennembruddet hos Bell Laboratorierne (Chapin et al., 1954) skyldtes dels udviklingen af industrielle metoder til at få én-krystaller til at gro til en bekvem størrelse, dels udviklingen af teknikker til at danne p-n overgange på kontrolleret vis. Baseret på disse teknikker blev en semi-kommerciel produktion af celler til brug i satellitter igangsat. Celler med en struktur som den øverst på Figur 3 viste var i produktion fra sidst i 1950'erne til først i 1970'erne, med en maksimalt opnået effektivitet på 12% ved jordoverfladen (10% i rummet, pga den højere andel af kortbølget sollys).

Gennem halvfjerserne blev den maksimale effektivitet forøget først til 14% gennem anvendelse af aluminium-legeringer på cellernes bagsider, som mindsker elektronbevægelser i dette område, så til 15% ved at anvende mindre fosfor til den dope'ning som opbygger frontlagets n-type karakter. Den øgede modstand mod strøm parallel med overfladen blev imødegået ved tættere placering af metal-leder fingrene (se Figur 3), hvilket var blevet muligt med nye fotolitografiske teknikker. Endelig fanges mere sollys ved at anvende en struktureret overflade (som pyramidestrukturen vist nederst i Figur 3), og effektiviteten nåede herved 17%.

Det næste gennembrud kom først midt i 1980'erne, gennem Martin Green's arbejde i Australien. Ved at anvende tynde oxid-lag kunne overflade-aktiviteten nedsættes, og cellen vist på Figur 4 øverst nåede op over 20% effektivitet. Strukturen på overfladen blev tilført ved kemisk ætsning, men senere udvikledes en laser-baseret metode til at skabe konturerne. Dette skete sammen med et nyt design af cellens bagside (Figur 4 nederst), med punktlignende kontakt omgivet af et beskyttende oxid-lag (passivated emitter, rear locally-diffused eller PERL celle), og effektiviteten kom herved op til ca. 24%. PERL celle-designet benyttes idag ikke blot i Australien, men også i USA og Japan. Ved Stanford University i Californien udviklede R. Swanson og medarbejdere cellen vist midt i Figur 4. Den er karakteriseret ved punktformede kontaktsteder på cellens bagside, og fravær af leder-fingre på forsiden, hvilket fjerner det tab som skyldes skyggevirkninger overfor det indkommende sollys (bemærk at denne celle er vist med bagsiden øverst, således at sollyset kommer ind nedefra). Stanford cellerne har opnået en effektivitet på 22-23%, og ikke 28% som hævdet før en kalibreringsfejl blev fundet (Sinton et al, 1986; King et al., 1988; Green, 1991).

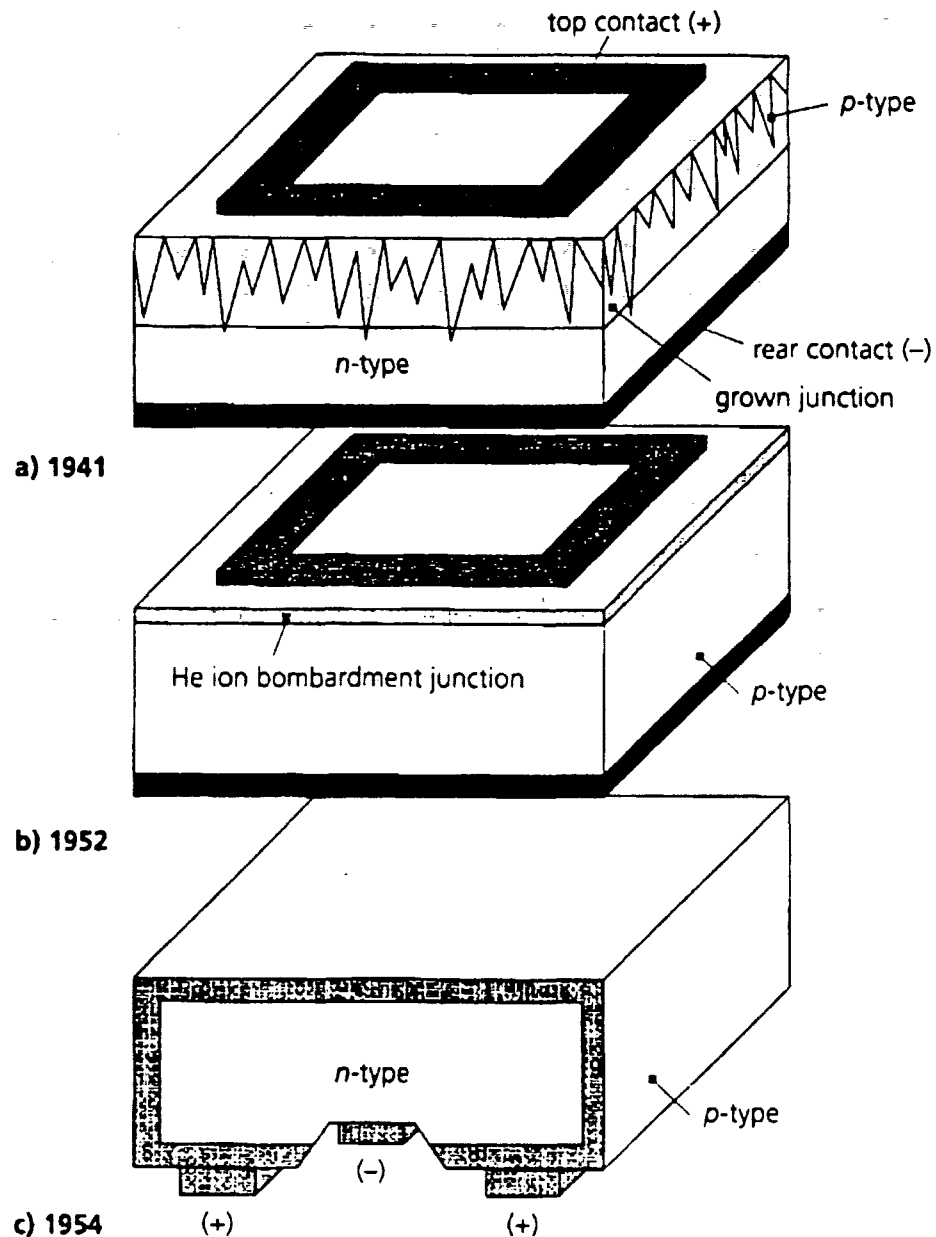


Det sidste års tid har forskningen ved Martin Green's laboratorium koncentreret sig om to nye ideer, der er illustreret i Figur 5. Den vigtigste er anvendelsen af "nedgravede kontaktsteder", hvilket refererer til de dybe riller, der udgør de metallisk ledende fingre (efter opfyldning med metal). I den nederste celle er dette princip benyttet ikke alene for den øvre overflades n-lag, men også for bagsidens p-lag. Fordelen ved dette design er et stort, ledende volumen i kontakt-rillerne, opnået uden at metallet giver nævneværdig skygge for det indkommende sollys. Det andet nye element i disse celler er at ikke blot forsiden (oversiden), men også bagsiden har en pyramideformet struktur, der påvirker den vigtige refleksion fra bagside-laget.

De første laser-strukturerede celler blev anvendt i den vindende bil i 1990 solbilvæddeløbet Darwin-Adelaide. En række af de ovenfor gjorte bemærkninger uddybes i Green (1991) og (1992),

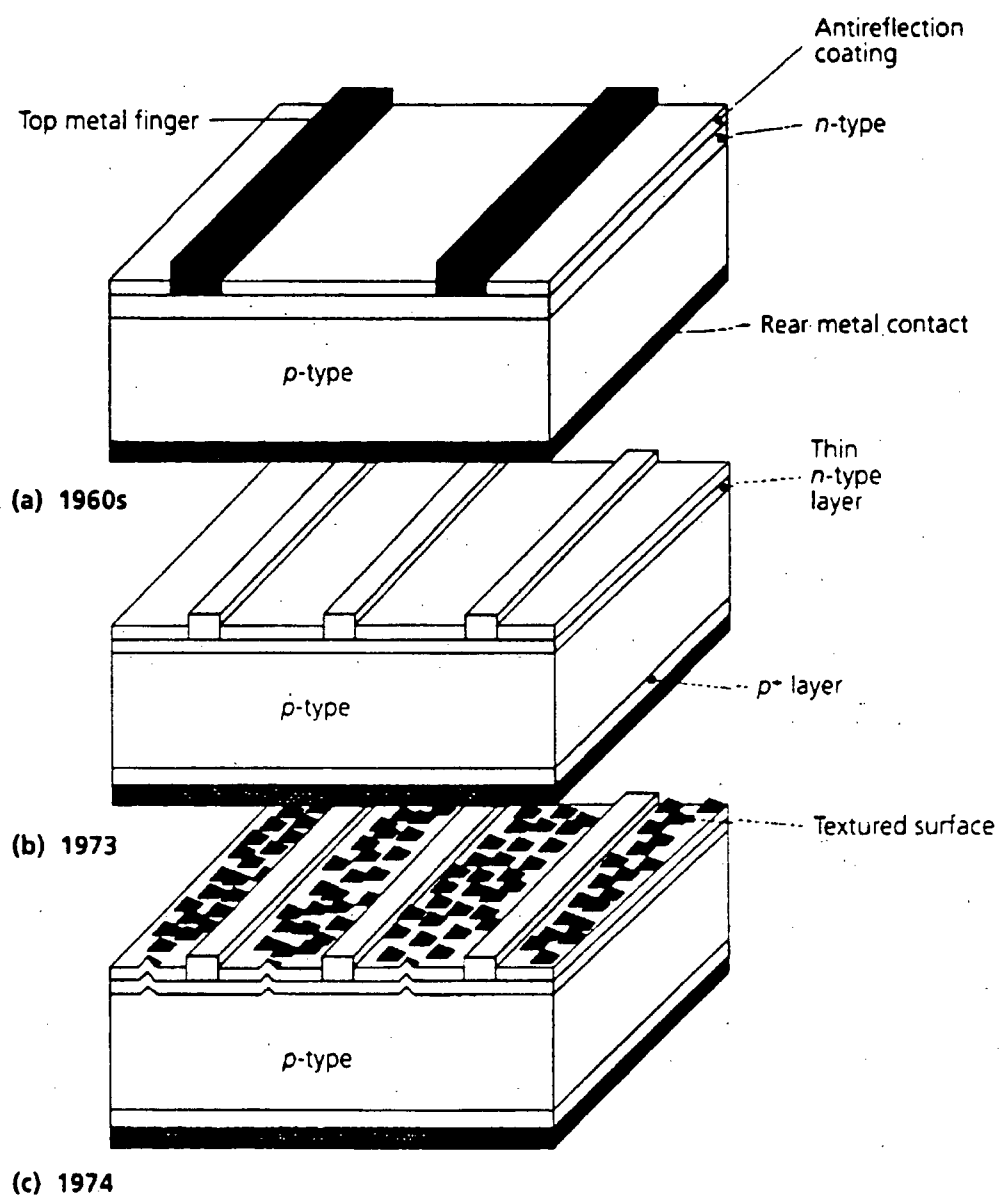
De australske optimerede celler har været afprøvet i bl.a. USA (National Renewable Energy Laboratory og Sandia Laboratorierne), som har etableret en test-procedure som efterhånden benyttes af alle laboratorier interesseret i højeffektive solceller (Kazmerski and Emery, 1992).

Generelt set kan en fotovoltaisk celledes virkningsgrad beskrives gennem sammenhængen mellem terminalspænding,  $V$ , og strøm,  $I$ . Terminalstrømmen er forskellen mellem den foto-inducerede strøm og rekombinations-strømmen, altså strømmen bestemt af rekomb-



Figur 2.

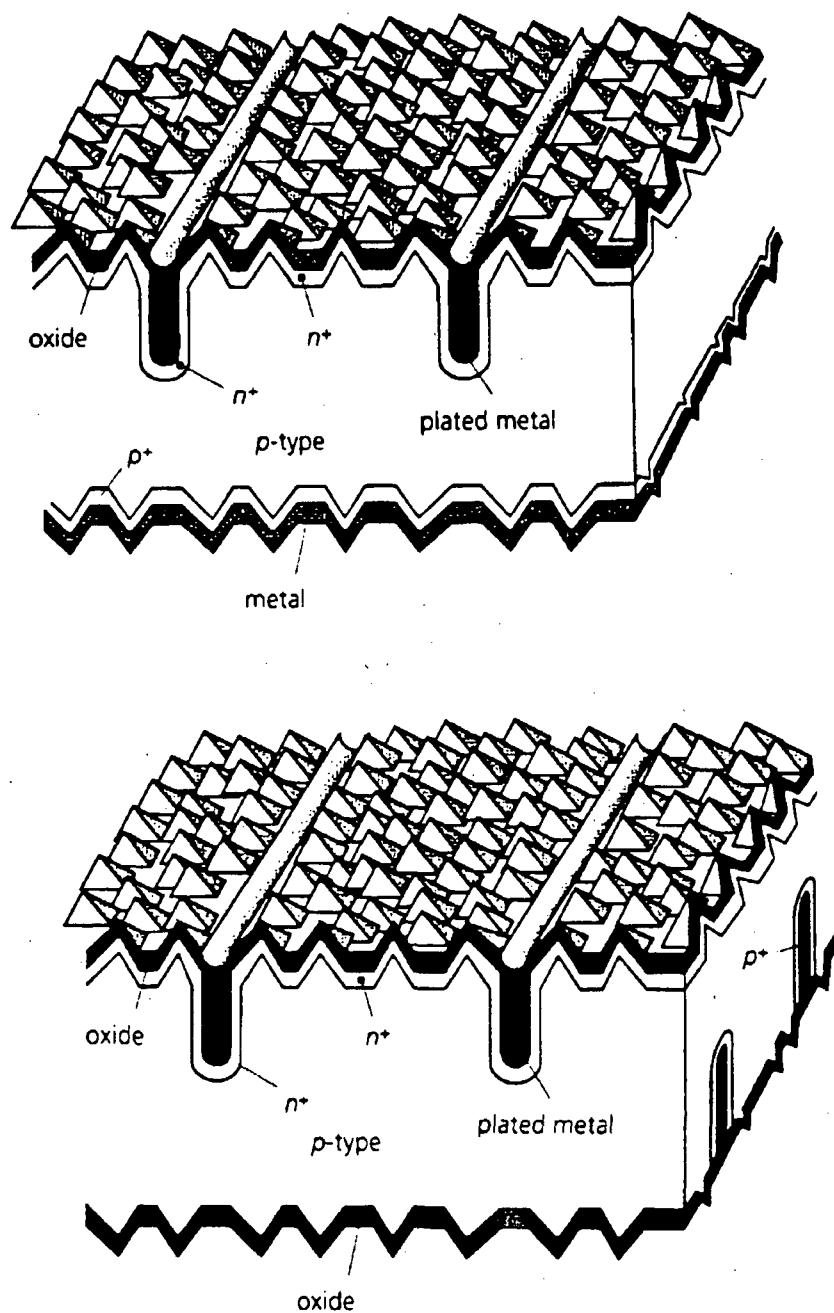
Historisk udvikling af silicium solceller: a) 1941 udformning baseret på "naturligt dyrket pn-sammenføjning", b) 1952 udformning baseret på pn-sammenføjning dannet ved helium ion-bombardement, og c) 1954 udformning baseret på bor-diffusions process. Dette var den første celle som opnåede en udnyttelig energikonverterings-effektivitet (Green, 1992).



Figur 3.

Silicium solceller udviklet mellem 1960 og 1975. a) 1960'ers celle til brug i satellitter, b) 1973 udformning med tynd-lags lilla celle, og c) 1974 udformning med refleksion nedsat ved hjælp af kemisk texturisering (pyramideagtige strukturer på overfladen). (Green, 1992).





Figur 5.

Øverst: Celle med laser-gravede render for nedgravede kontaktsteder. Nederst: To-sidet laser-graveret celle. (Green, 1992).

bination mellem bevægelige elektroner og huller i materialet. Spændingen indeholder dels et led som beskriver kvantespringet i de aktive atomer, og dels et led der beskriver elektriske modstandstab. Dette giver tre områder at arbejde med, hvis effektiviteten af en given celle skal forøges: Hvordan kan foto-strømmen forøges, rekombinationen formindskes, og modstandstabene reduceres. De strukturelle virkemidler, som er beskrevet overfor, er ofte komplicerede i den forstand at de påvirker alle tre faktorer samtidig.

## 1.2. Nettilsluttede solceller: Centrale anlæg eller bygningsintegrerede moduler.

Valget mellem central eller decentral udbygning af nettilsluttede fotovoltaiske systemer beror på to forhold: Den ene vedrører de relative omkostninger ved de to løsningsmuligheder, mens den anden har at gøre med driftsmæssige forskelle.

Hvad angår monteringen er en væsentlig fordel ved bygningsintegrerede solcellemoduler, at disse kan erstatte andet facade- eller tag-belægningsmateriale. Der vil normalt heller ikke være behov for indramning eller støtteplade på bagsiden. Også for frit-placerede moduler arbejdes med løsninger hvor modulerne ikke er monteret på bagplade eller har indramning, men for sådanne placeringer må under alle omstændigheder forefindes en form for stativ, og understøtning for vindpåvirkninger fx. i form af vinkeljern eller lignende.

I de tilfælde, hvor modulerne skal dreje efter solretningen, er montering på bygningsflader ikke hensigtsmæssig. Denne løsning synes mindre interessant for Danmark, hvor en stor del af lyset er spredt (altså ikke kommer fra en enkelt retning), og det er under alle omstændigheder tvivlsomt, om den øgede solindfangning kan betale for de ekstra komponenter. Desuden er drejemekanismerne sårbare og kræver mere vedligeholdelse end det forventes for modulerne selv.

En yderligere fordel ligger i at strømmen produceres ved eller i nærheden af elforbrugere, fremfor i områder hvor prisen på land er lille (med det deraf følgende transmissionsbehov). I lande som Danmark er det ydermere vanskeligt overhovedet at finde egnede placeringer for centrale solanlæg (cf. diskussionen af vindmølleparkers placering).

Ulemper ved placering på bygninger er de relevante fladers placering i forhold til solen, som for nye bygninger kan vælges med henblik på solmodul-integrering, men som for eksisterende bygningers vedkommende ikke altid vil være optimal. Desuden er der i mange bymæssige situationer mulighed for skyggevirkning fra andre bygninger eller strukturer, og idag findes ingen afklaring af spørgsmål om rettigheder til sol-tilgang, fx. i tilfælde af, at en nabo ønsker at opføre en ny bygning, som vil formindske udbyttet af et eksisterende solenergianlæg. Nogen beskyttelse mod sådanne situationer ligger i bygningsvedtægter, herunder regler vedrørende bygningers højde og afstande mellem bygninger, i forskellige lokalplansområder. Sådanne problemer er kendt fra termiske solfangere og skønnes at være mindre for tag-monterede solfangere med beskeden hældning, men kan være alvorlige i tilfælde af placeringer med stor hældning, og især for facadeintegrerede løsninger. Iøvrigt viser erfaringer fra udlandet, at der ikke behøver at være en sammenhæng mellem sol-modul hældningen og bygningsfladens generelle hældning, selvom der er tale om bygningsintegrerede løsninger (cf. billedet på forsiden, hvor 45° hældende solceller er integreret i lodrette bygningsflader, så solcellemodulerne også fungerer som solafskærmning for vinduer, der herved primært modtager spredt lys).



På drift-siden har placering af solceller i forbindelse med bygninger fordele i form af mindskede transmissionsafstande, og også i form af bedre balancerede elsystemer, med mulighed for reaktiv kompensation i ledningsnettets yderområder. Afhængig af nettets konkrete udformning kan besparelser af størrelsesordenen 10 øre/kWt findes (Carr, 1992). Det har været hævdet, at centrale sol-elektricitetsanlæg skulle være lettere at operere for elværker, fordi de ligner andre produktionsenheder. Det er formentligt ikke rigtigt, idet opfattelsen af decentrale solproducenter som "negativ belastning" giver en ligeså hensigtsmæssig måde at regulere nettobelastningen på, som det egentlige elforbrug med dets fluktuationer gør.

En vigtig aspekt er dog sikkerheden, i forbindelse med udfald af nettet. Under de fleste forhold vil det være muligt at frakoble solmoduler ved hjælp af kontrolsystemer som de der i Danmark kendes fra vindkraftanlæg, men der kan under særlige forhold opstå temmelig lange frakoblingstider, med den vekselretter-teknologi som idag bruges i flere sol-celle-installationer (cf. afsnit 2.2.3). Tekniske løsninger på dette problem forefindes og er under afprøvning forskellige steder.

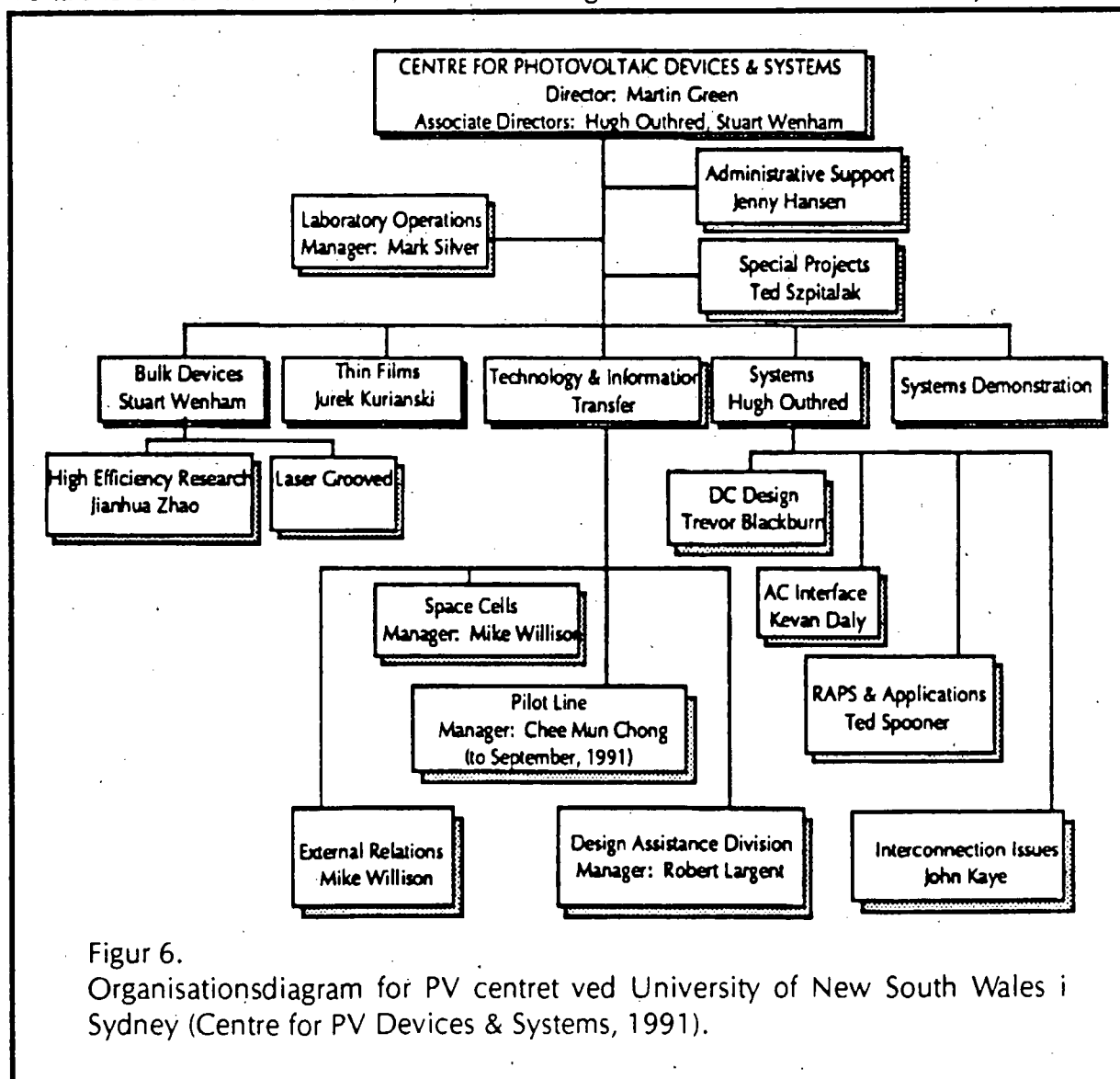
Sammenfattende er der overvældende konsensus om, at decentrale løsninger vil være mest hensigtsmæssige i områder, hvor der ikke findes store områder med land af lav kommerciel værdi (og uden natur-værdier), forudsat at der ikke er tale om systemer alene baseret på direkte solindfald (især koncentrator-systemer).

## 2. PROJEKTER

### 2.1. Australien

2.1.1. University of New South Wales, Department of Electric Engineering and Computer Science. Centre for Photovoltaic Devices and Systems.

Martin Green's arbejde med fotovoltaiske celler begyndte omkring 1980 i afdelingen for "Electrical Engineering". I 1990 blev det besluttet at udvide aktiviteten til et selvstændigt center for fotovoltaisk forskning, der udover Green's arbejde med højeffektive celler skulle omfatte arbejde med solcelle-systemer, såvel alenestående som net-integrerede. Et samarbejde mellem UNSW gruppen og Roskilde Universitet, repræsenteret ved denne rapport's forfatter, har kørt siden 1982, og da det nye fotovoltaiske center blev etableret, var det naturligt at formalisere dette samarbejde med en



fast konsulentaftale, hvor jeg er til rådighed med min viden indenfor området "Power System Interaction and Economics", og til gengæld har adgang til centrets viden, også udenfor de konkrete samarbejdsprojekter, som kører.

Centrets organisation er vist på Figur 6, som også viser de vigtigste arbejdsområder. På selve solcelle-området arbejdes nu ikke alene med krystallinske celler, men også med polykrystallinske og amorfe materialer. På systemsiden er etableret forskningsprogrammer for DC-systemer (koblede PV-paneler), håndtering af kraft-processering (DC-DC og DC-AC konvertering, integration af batteri-komponenter, kraft-kvalitets-forbedrende tiltag, osv), det nævnte program for studiet af tekniske og samfundsmæssige spørgsmål relateret til centrale og decentrale anlæg, layout af disse (ikke mindst bygningsintegrerede systemer), tarif-spørgsmål og generelt forhold, som har betydning for værdien af den af PV-anlæg producerede strøm. Et tilsvarende program kører for stand-alone anlæg, og endelig er etableret et særskilt program for demonstrations-anlæg, information og viden-overførsel.

Et eksempel på et demonstrationsanlæg, som er under opførelse, er en ny bygning for solenergiforskning, som opføres ved UNSW. Bygningen, som er resultatet af et samarbejde mellem PV-centret og Arkitektskolen, skal dels indeholde solvarme og PV-paneler, dels en række energibesparende faciliteter og måleudstyr.

#### 2.1.1.1. Krystallinske celler med høj effektivitet.

Arbejdet med at forøge effektiviteten af silicium solceller skåret ud af én-krystaller fortsætter men synes tydeligt at opnå resultater i nedsat tempo og med større og større indsats. Dette er naturligt, idet springet fra de indtil nu opnåede effektiviteter på 24% til det teoretiske maksimum på godt 30% er lille. Samtidigt er der et stigende pres mod at laboratorieforskningen ikke bør anvende metoder, der vil være umulige at omsætte til produktionsvirksomheder, men i stedet skal bruge kræfter på at udtænke og tillemppe de anvendte metoder, så de er egnede for omsætning til industrielle miljøer.

Dette gør, at interessen for at tillemppe solcellerne til solspektret ved at anvende flere lag, som absorberer forskellige vinduer i spektret, er mindre end for et par år siden, og at metoder som kræver forarbejdning af materialerne, må have industrielle sidestykker. Dette er nok grunden til, at kemisk ætsning af strukturen i cellerne stadig er udbredt. Der er forholdsvis beskeden industriel erfaring med laser-teknikker til at lave render og strukturer på cellerne, omend nogen brug af sådanne teknikker kendes fra mikroelektronik-industrien. Erstatning af en række kemiske processer med laser-baserede metoder har betydning for miljøvurdering af produktionsforholdene, men er primært et spørgsmål om direkte omkostninger. Her er der nogle, som anser at laser-teknologierne snart vil udkonkurrere de gamle metoder, altså ved at prisen på laser-anlæg falder tilstrækkeligt. Dette synes imidlertid at kræve en betydelig produktion. Idag har en række af de solcelleproducerende virksomheder kapacitet til at fremstille langt større mængder end de faktisk gør. Derfor er interessen for at indføre ny produktionsteknologi pt. beskeden. Men hvis efterspørgslen af solceller stiger kraftigt, vil dette forhold ændre

sig.

PV Centret i Sydney har kontakt med bl.a. virksomhederne BP Solar og Solarex, som de har givet ikke-eksklusiv licens til at fremstille celler med anvendelse af de på Centret udviklede metoder.

Som det er nævnt i gennemgangen af udviklingen af krystallinske celler i afsnit 1.1, er dagens optimale cellestruktur karakteriseret ved et lys-indfangningssystem baseret på inverterede pyramidestrukturer på den side af cellen, der vender mod solindstrålingen, samt en reflekterende oxid/metal struktur på bagsiden, som tilbagekaster en del af de stråler, som ellers ville passere igennem cellen. Cellens effektive tykkelse kan herved ifgl. målinger forøges med over en faktor 30, dvs at cellen absorberer lys som om den var 30 gange tykkere end den faktisk er. Elektriske kontaktsteder placeres på bagsiden, for at undgå reduktion af solindstråling ved skyggevirkninger.

De idag mest effektive celler er karakteriseret ved en spænding (ved åben kreds) på 718 mV. Der eksperimenteres med kontrollerede variationer i dope'ning af materialet, som tjener til at få styr over rekombinationsraten forskellige steder i cellen. Desuden har der været foretaget eksperimenter med introduktion af indium urenheder i p-silicium materialet, med det formål at indfange noget af det langbølgede lys, som silicium ikke absorberer. En forbedring er påvist, men af beskedent omfang.

De dybe kontakt-render, som tjener til at forbedre opsamlingen af ladningsbærere (elektroner eller huller), har været undersøgt i forbindelse med forskellige udformninger af cellen, inkl. oxid/bagside og bagside med tværgående rendestruktur (se Figur 5). Det er dog endnu ikke lykkedes at samle delforbedringerne i en celle med total effektivitet højere end 24%. Der er derimod forsøg med mekanisk graving af renderne, som har vist, at dette er et muligt alternativ til industriel laser-graving, og karakteriseret ved lavere investeringsbehov.

En række af de teknikker, som har været bragt i anvendelse ved forbedringen af de krystallinske cellers effektivitet, er også anvendelige for poly-krystallinske og amorfe celler. PV Centret i Sydney har påbegyndt arbejde med tyndfilm-celler baseret på enten polykrystalinsk eller amorft silicium-materiale, og venter her at forøge effektiviteten fra den nuværende rekord på over 17% (Rohatgi et al., 1993), med industriel produktion af celler med 10-15% effektivitet som drivende målsætning.

#### 2.1.1.2. Systemaspekter

PV Centret i Sydney samarbejder om systemaspekter af PV installationer dels med Pacific Gas & Electricity i Californien, dels med Roskilde Universitetscenter. I første tilfælde er der primært tale om el-kvalitets og el-konditioneringsproblemer, mens der i det andet samarbejde ses på miljøimplikationer og samfundsøkonomiske forhold, fx. i relation til distribueret el-produktion.

Centrets Power Processing afdeling arbejder med konstruktion af nye inverter-typer, særligt velegnede til indsats i PV-installationer. Det drejer sig dels om små effektive invertere for små-systemer eller endog integreret i selve PV-modulerne. Dels om invertere specielt til indsats i systemer, der omfatter energilagring (batterier, vandreservoirer, etc.).

En analyse er foretaget af miljøpåvirkninger under produktion af solceller. Disse forhold er meget lig dem som findes i elektronikindustrien, og i detaljerne afhænger de en del af, præcist hvilke teknikker det vælges at bruge under fremstillingen. Der er væsentlige forskelle mellem produktion af silicium-celler og celler baseret på gallium-arsenid, cadmium-tellurid osv. Disse forhold vil blive nærmere belyst i et følgende notat.

En omfattende analyse er iværksat, for at belyse de forhold, som gør at effektiviteten af totale solcellepaneler er væsentligt lavere end for de enkelte moduler, og igen for de enkelte celler. Løbende faktorer er spørgsmål om ideelt match mellem systemets enkelte dele, og spørgsmål om driftsstrategi under skiftende ydre omstændigheder, mens andre faktorer beror på langtids-degradering af komponenter og opståen af diverse fejl.

De enkelte celler har ikke identiske data, og tolerancen er forbundet med kvalitetskrav og dermed forbundne omkostninger i fremstillingsprocessen. I nogle systemer indføres bypass-dioder, men under alle omstændigheder er system-optimeringen vanskelig under forhold med mange forskelle i de individuelle komponenter. Målet med denne forskning er at anvise løsninger, som er robuste overfor de nævnte forhold, og som på praktisk vis kan integreres i produktion eller installations-procedurer. Tilsvarende gælder for drift-situationen, at målet er at anvise strategier, som minimerer u hensigtsmæssig drift af el-systemer med PV-bidrag, hvad enten disse er af teknisk eller økonomisk natur.

## 2.2. USA

### 2.2.1. SunPower, Sunnyvale, California

Stanford University har de sidste ti år været USA's førende laboratorium for højeffektive celler, og i særdeleshed celler egnet for drift under koncentreret sollys, altså celler der modtager lys fra et optisk koncentrerende system af spejle eller linser. Sådanne systemer kræver retningsbestemt sollys, og er derfor uegnet under klimaforhold med en stor andel af spredt lys. Det har imidlertid vist sig, at en række af de ved Stanford University udviklede celler også egner sig til modul-konstruktioner uden koncentreret lys, og under sådanne forhold stort set når samme effektivitet som de i Australien udviklede celler.

For små to år siden blev virksomheden SunPower dannet med det formål at kommercialisere solcelle-forskningsresultaterne fra Stanford. Lederen af Stanford's solcelleforskning, professor Richard Swanson, blev vicedirektør i SunPower, og hans nøglemedarbejdere fulgte med til det nye firma, som er uafhængigt af universitetet. Dette betyder, at der idag ikke længere foregår nævneværdig forskning i solcelle-teknologi ved Stanford University. SunPower har valgt at udvikle koncentrator-celler og systemer baseret herpå, med elværker, soldrevne racerbiler og rumfartsindustri som primære målgrupper.

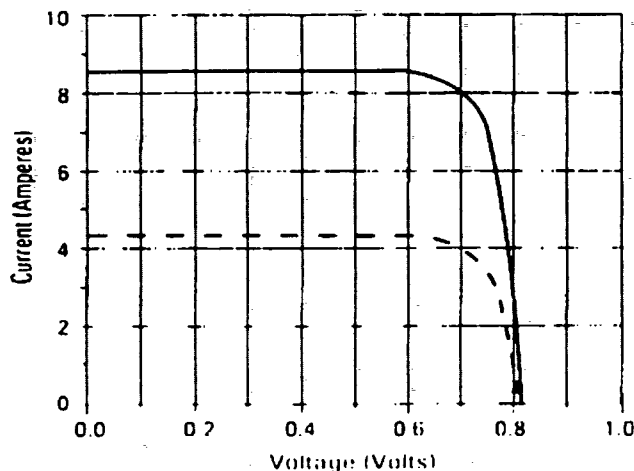
Der er tale om systemer som følger ændringerne i retningen til solen ("tracking"), og hvor koncentrationsfaktorer på 100 til 500 gange det direkte sollys enten opnås ved Fresnel-linsesystemer foran cellerne, eller ved et system af spejle, der kaster lyset op mod et centralt placeret solcelle-modul ("receiver"). Herved opnås at en betydelig del af de økonomiske omkostninger flyttes fra selve cellerne til system-komponenterne. Det er imidlertid stadig et væsentligt dyrere system end mange tilgængelige fast-monterede (og ikke-koncentrerende) systemer, og fremtidig billiggørelse skal ske i de traditionelle komponenter som spejle, vippe-arme, drejemotorer osv., hvilket synes sværere end at håbe på prissænkninger for selve solcellerne.

SunPower lever idag af udviklingskontrakter fra det amerikanske energiministerium og elværkernes forskningsorganisation EPRI. Der sættes desuden på solbil-markedet, som efterspørger de mest effektive solceller, og kun virksomheder der kan levere state-of-the-art på dette område opnår kontrakter. Priserne er til gengæld i top. Også rumfarts-markedet er meget kompetitivt, men her på prisen for en given "performance". Endvidere stiger det samlede antal satellitter kun langsomt, og solcellefabrikanterne anser at dette marked nærmer sig et vedligeholdelsesmarked med blot en eller to nye satellitter om året, til udskiftning af udrangerede.

Flere store elselskaber i USA har eller overvejer at melde sig ud af EPRI, og i lyset af de privatiseringstanker, der kredser overalt i den amerikanske elindustri, synes det højst usikkert, hvilke muligheder elværkerne fremover vil have for at drive forskning og udvikling overhovedet. Solcelleindustrien er derfor yderst bekymret, og de fleste virksomheder kører med underskud og truende lukning (tidligere er ARCO Solar solgt til Siemens, og Chronar Corp. erklæret konkurs). Der er et lille håb om, at den nye Clinton-administration vil øge udgifterne til forskning, udvikling og demonstration af

## Concentrator Point Contact Cell

Cell No. F601-R42BW3 Manufactured: 9/92



Pin 18.4 W/cm<sup>2</sup>  
 Isc: 8.636 A  
 Voc: 0.818 V  
 Fill Factor 79.4%  
 Efficiency 25.1%  
 Peak Power 5.61 W

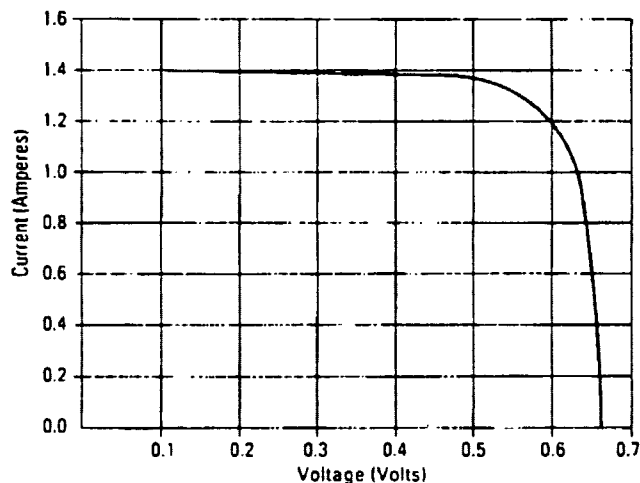
Pin 9.3 W/cm<sup>2</sup>  
 Isc: 4.365 A  
 Voc: 0.805 V  
 Fill Factor 81.7%  
 Efficiency 25.46%  
 Peak Power 2.87 W

Figur 7

IV diagram for Stanford-baseret SunPower celle udviklet til brug i koncentrator-konstruktioner (fra materiale udleveret af SunPower).

## One Sun Cell

Cell No. R32W11 Manufactured: 7/92

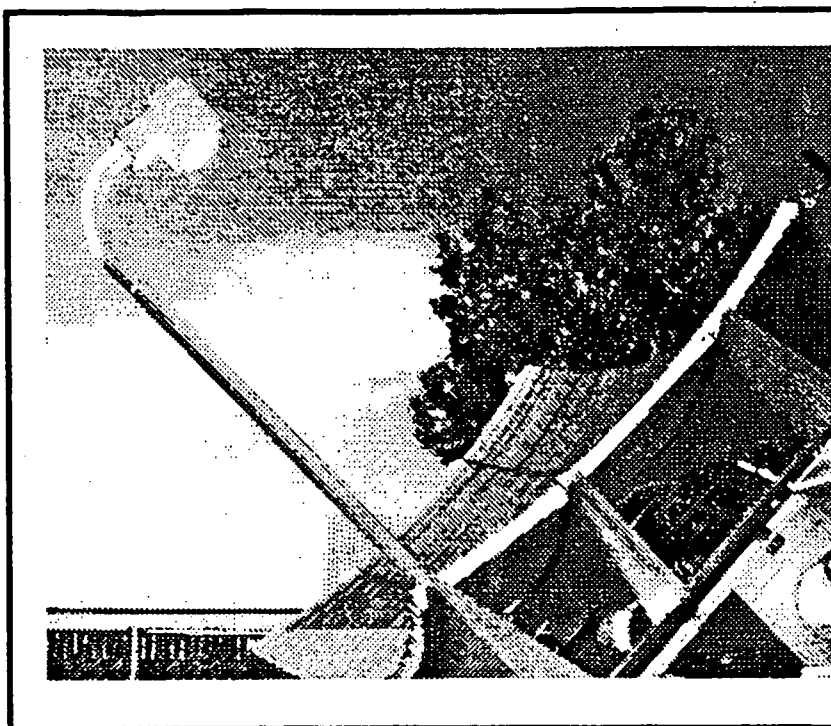


Irradiance: 994.0 W/m <sup>2</sup>	Peak Power: 0.747 W
Efficiency: 21.3%	Fill Factor: 80.7%
Voc: 0.666 V	Isc: 1.39 A
Vpp: 0.569 V	Ipp: 1.313 A

Test conditions: Global Air Mass 1.5 Spectrum  
 100 mW/cm<sup>2</sup> @ 25 C

Figur 8

IV diagram for celle baseret på Stanford design, udviklet af SunPower med henblik på plane moduler uden koncentration af sollyset (materiale udleveret af SunPower).



Figur 9.  
Halvskala model af koncentrerende solfanger-system udviklet af SunPower. Høj-effektive PV-celler er placeret i modtageren, som modtager lys fra spejl-systemet til højre, med en forventet koncentration på 250 gange.

vedvarende energianlæg, og finansiering gennem Energiministeriet ses som nødvendigt for solcelle-industrien, der ikke skønnes at kunne stå på egne ben de første 4-8 år.

SunPower's celler har alle elektriske forbindelser på bagsiden af cellen, således at der ingen skyggevirkning er fra forside skinner til opsamling af strømmen. Målinger foretaget på Sandia Laboratories viser effektiviteter på 26% for celler beregnet til koncentrator-systemer, 21% for celler til brug i systemer ved jordoverfladen uden koncentration af sollys. Figur 7 og 8 viser de to celletypers IV-kurver. Et 5 MW system er designet for elskabet PG&E, baseret på spejle og centrale modtagere med en ikke-billeddannende 250 gange koncentration (dvs. blød fokusering over modtagerens areal). Samme type system, med to modtagere og tæt-pakkede reflektor-sæt (en model af den ene er vist på Figur 9) og maksimum effekt 20 kW, vil blive opført ved PVUSA, Davis, i løbet af 1993 og 1994. Dette projekt finansieres af det amerikanske Energiministerium. Ideen med PVUSA's 20 kW projekter er sammenlignende at teste forskellige innovative koncepter, i modsætning til PVUSA's 200 kW-5 MW projekter, der i højere grad satser på at teste netintegration og samle elværksrelevante erfaringer.

Sunpower regner med at kunne opnå en systemeffektivitet på 16% ved DC-udgangen. Faldet fra cellernes ca. 26% effektivitet til 16% skyldes elektriske tab og strøm anvendt til at drive kølesystemets kompressorer og tracking systemet. Der anvendes aktiv køling for at holde solcellerne på max. 25 grader C. Et andet system som produceres for EPRI benytter stort set samme celler, men med en Fresnel linseoverbygning. Det ventes at faldet i effektivitet her er fra 26% til 18%. En model i mindre skala er opbygget ved Fabrikken i Sunnyvale, af begge disse systemer. Fabrikken køber silicon wafers og producerer herudfra cellerne. Der benyttes kemisk ætsning af overflademønstre og indents for kontakter, og cellerne afprøves individuelt i fabrikkens testlaboratorium. De buede rammer til spejlkonstruktionen produceres også af virksomheden selv. Der benyttes plant



spejlglas, som bøjes næsten til brudgrænsen, for at opnå den fokuserende struktur (cf. Figur 9), den endelige justering af spejlelementerne foregår ved hjælp af simple skruer i rammestrukturens underside. Forskellige kølemidler har været afprøvet, og i tilfælde af fejl i kølesystemet falder en beskyttende reflektor ned foran cellerne.

#### 2.2.2. Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California

Energi og Miljøafdelingen i LBL beskæftiger sig mest med energi effektivitet, et emne som Lee Schipper's gruppe har specialiseret sig i at behandle gennem sammenligning af forskellige landes statistiske materiale. En lille del af afdelingen, ledet af Edward Kahn, ser på el-industrien og dens problemer, dels tekniske problemer med el-kvalitet (fx. i forbindelse med opkobling af vedvarende energikilder til nettet), og dels organisatoriske problemer i forbindelse med el-sektoren (privatisering, regler for uafhængige leverandører til nettet, osv.). Ed Kahn har tidligere forfattet en række rapporter vedrørende vind- og fotovoltaisk energi's værdi for et el-selskab.

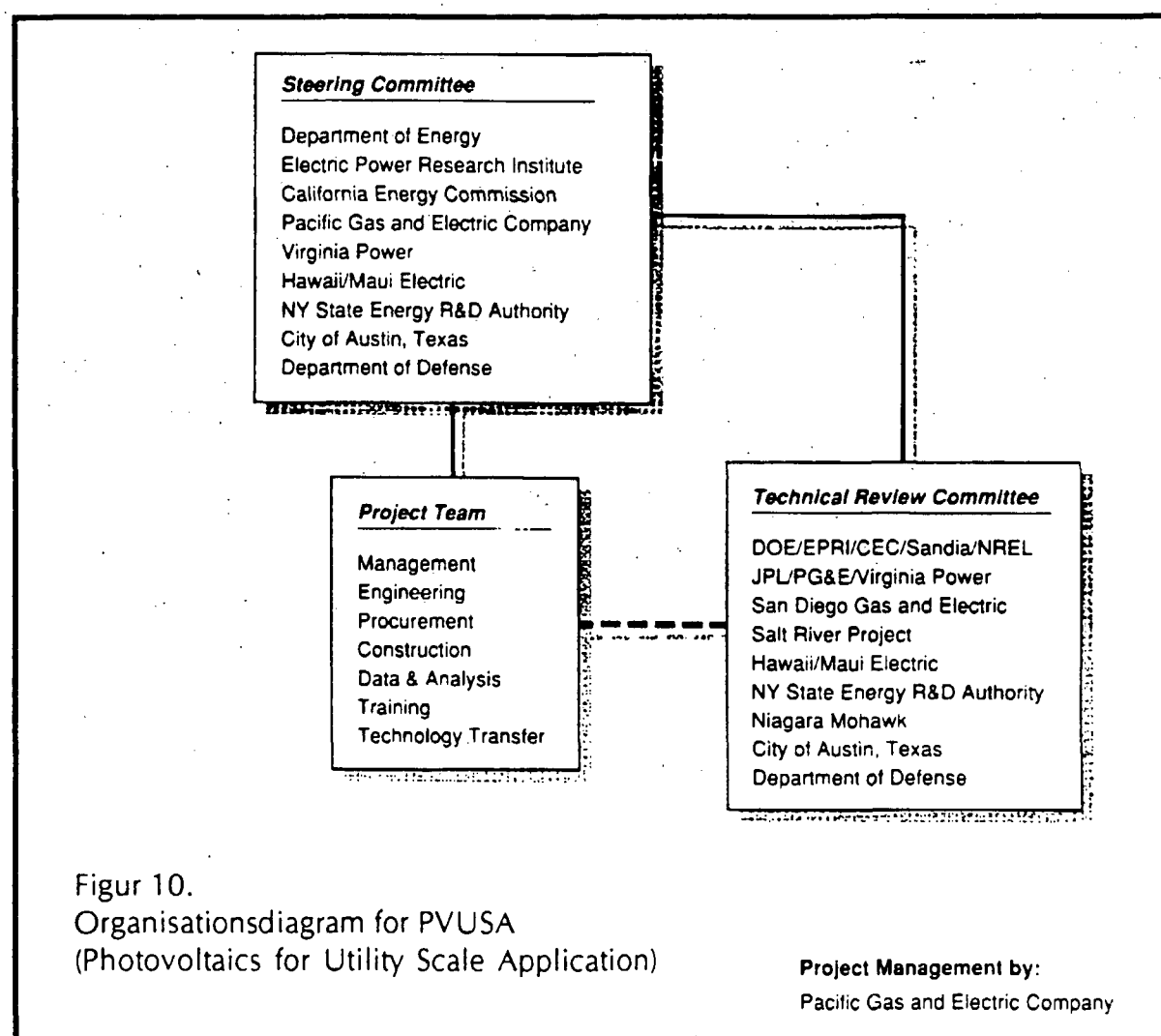
Ed Kahn deler solcelleindustriens bekymring over forskningens stilling i en dereguleret og mere eller mindre privatiseret el-sektor. Allerede idag er der politikere, som åbent siger, at el-værker som PG&E ikke burde bruge forbrugernes penge på forskning og udvikling, men kun på at producere og levere billig strøm. Trods dette arguments indbyggede selvmodsigelse, kan der være grund til at frygte, at et politisk kompromis om de amerikanske el-selskabers status kan indgå, uden at F&U problemet indgår.

### 2.2.3. PVUSA, Davis, California

Projektet Photovoltaics for Utility Scale Application (PVUSA) er et nationalt forsknings- og demonstrationsprojekt, som blev påbegyndt i 1987 (fase 1) og 1991 (fase 2). Hver fase består dels af afprøvning af ny fotovoltaisk teknologi, opnået gennem tests af 20 kW installationer under ens omstændigheder, dels af demonstration af 200-500 kW nettilsluttede anlæg under omstændigheder der ligner elværksdrift. Hovedfaciliteten har hidtil været Davis, Californien, med et mindre anlæg på Maui, Hawaii. Et 200 kW anlæg er etableret i Austin, Texas, og et 20 kW anlæg i staten New York. Herudover er det største fase 2 projekt (500 kW) netop opført i Kerman, godt 100 km syd for Davis. Denne lokation er dels valgt af pladshensyn, dels fordi el-selskabet Pacific Gas og Electricity har en substation på stedet.

Finansieringen af PVUSA kommer primært fra det amerikanske Energiministerium (50%) og fra de mest progressive el-selskaber i USA. PG&E, hvis andel i finansieringen er 40%, har den konkrete projektledelse. Figur 10 viser projektorganisationen.

Kørende idag er kun fase 1 systemerne, hvor ny-teknologi projekterne omfatter mikro-



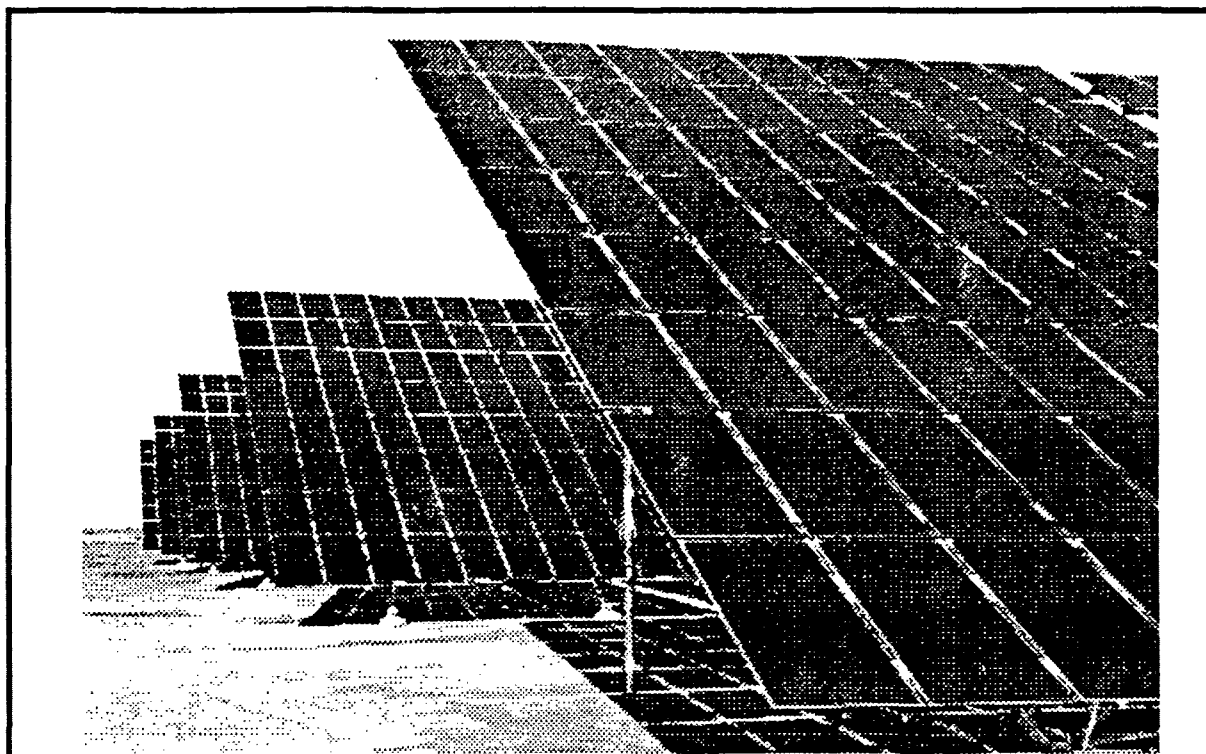
Figur 10.  
Organisationsdiagram for PVUSA  
(Photovoltaics for Utility Scale Application)

raster krystallinske silicium celler (Siemens), tandem-overgang amorft silicium (Sovonics, og Utility Power Group), to-sidet polykrystallinsk silicium (Solarex) og 22 gange koncentrator system med trackning langs to akser (Entech).

Målte effektiviteter ved DC udgangen er ca. 3% for de to systemer baseret på amorfe celler, 8-11% for de øvrige (Entech højest, men baseret på kun et års målinger, de øvrige på 2-3 år). De målte effektiviteter er væsentligt lavere end fabrikanternes oprindeligt stipulerede (PVUSA, 1992).

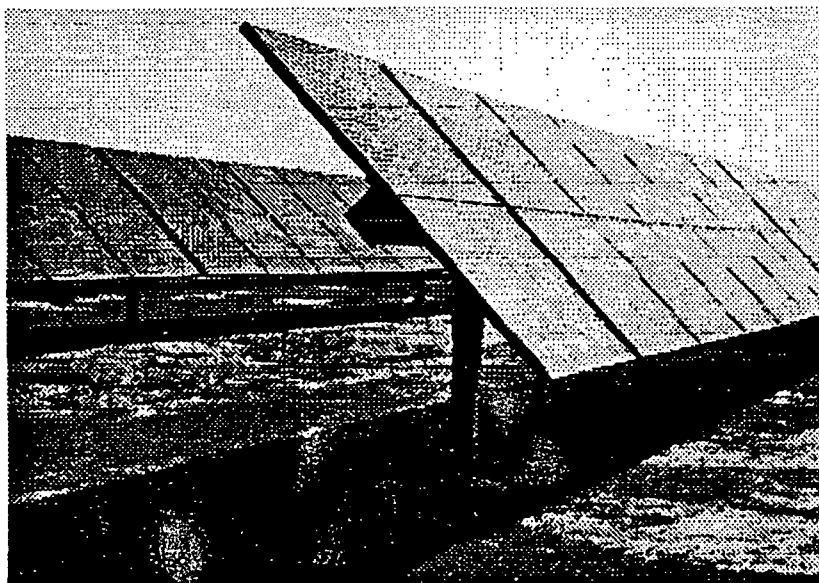
Tre anlæg på elværksniveau kører: 200 kW Siemens krystallinske silicon solceller med passiv tracking i en retning, 200 kW Mobil solcellemoduler med aktiv tracking i en retning, og 400 kW fast monterede (30 graders hældning) amorft silicium celler fra Advanced PV Systems.

Effektiviteten er 3-4% for de amorfe celler, ca. 7% for Mobil og ca. 10% for Siemens systemet. Med passiv tracking menes at der ikke anvendes motor til at bevæge kollektorerne, men et system af freon-fyldte kanaler, der ved hjælp af differentiell opvarmning skubber panelerne på plads. Dette system har givet en del problemer, og nye kanaler fyldt med en højere freon-gas er under installation, tilsyneladende med bedre virkning til følge. Fremtidige systemer vil sandsynligvis gå tilbage til motorer, idet der ved anvendelse af driftsikre, meget små motorer ikke er nogen nævneværdig indflydelse på effektiviteten. Den valgte tracking-retning er op-ned, og der trackes ikke horisontalt. Ved

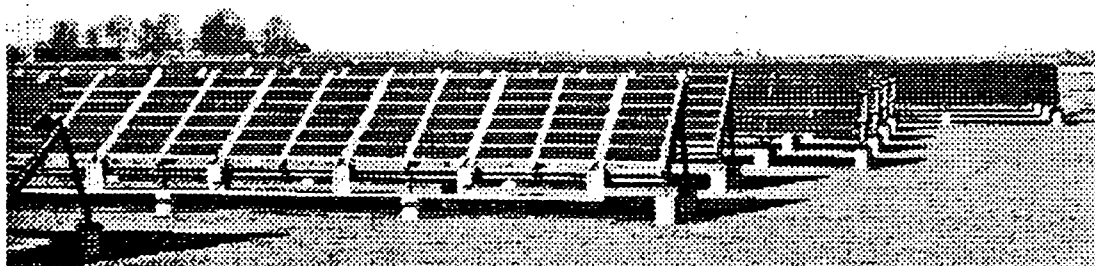


Figur 11.

400 kW Advanced PV Systems installation i PVUSA's Utility Scale Systems 1 program ved Davis. Modulerne indeholder celler af amorft silicium.



Figur 12.  
PVUSA: 200 kW installation af Mobil Solar moduler fra Integrated Power Corp. med krystallinsk silicium celler, og med aktiv tracking langs 1 akse (hældning). Installationen er en del af Utility Scale Systems 1 anlægget ved Davis i Californien.



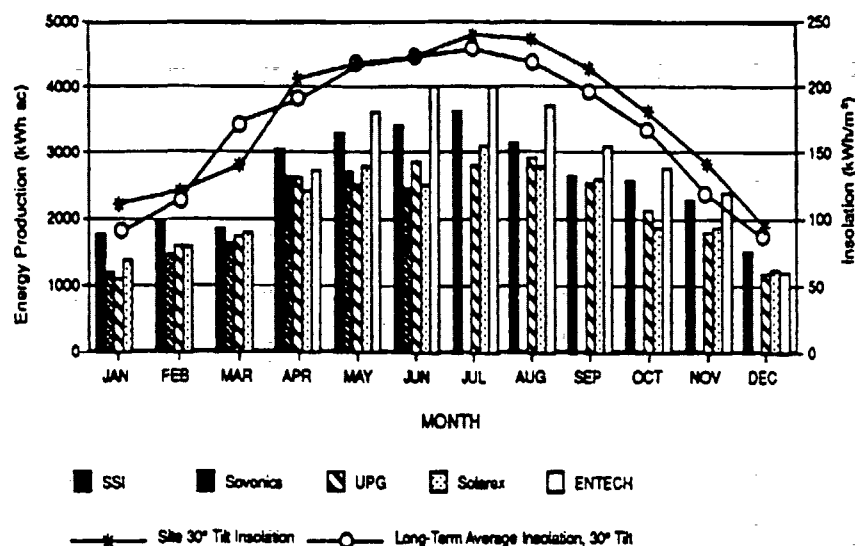
Figur 13  
PVUSA's felt for "Emerging Module Technologies 1". Her afprøves mikro-grid ARCO celler, tandem amorf celler fra Sovonics, to-sidede polykrystallinske celler fra Solarex, og tandem amorf celler fra UP Group.

Figur 14  
PVUSA's EMT 1 felt: Entech 22 gange koncentrator celler, tracking langs to akser, parkeret pga. høj vindhastighed

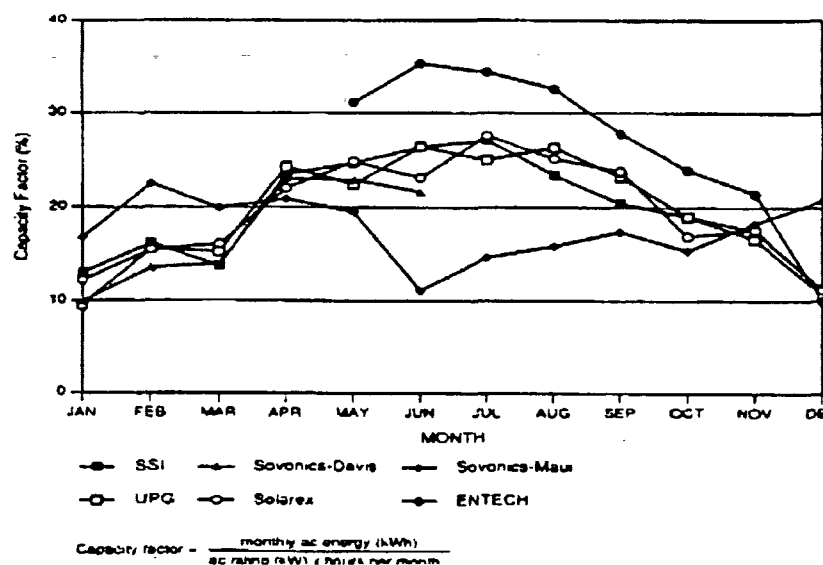


Figur 15  
Siemens 200 kW 1-akse tracking moduler (krystallinsk Si). Den passive tracking ses at have problemer

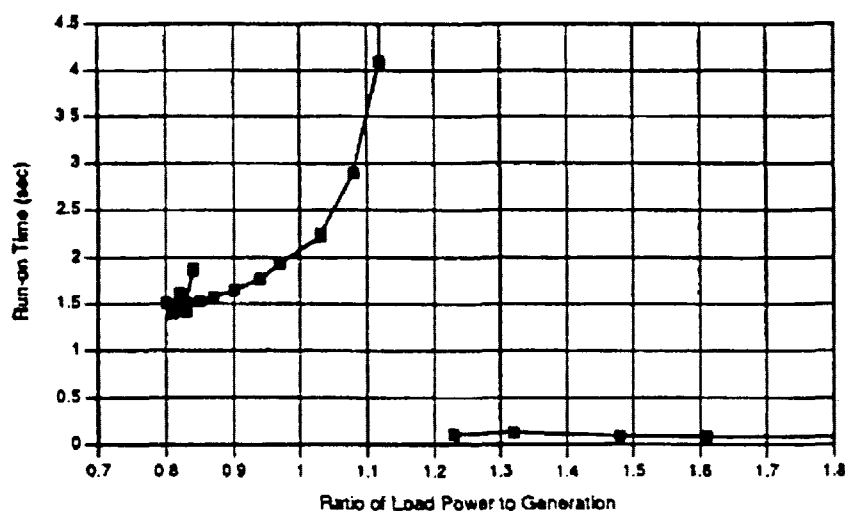




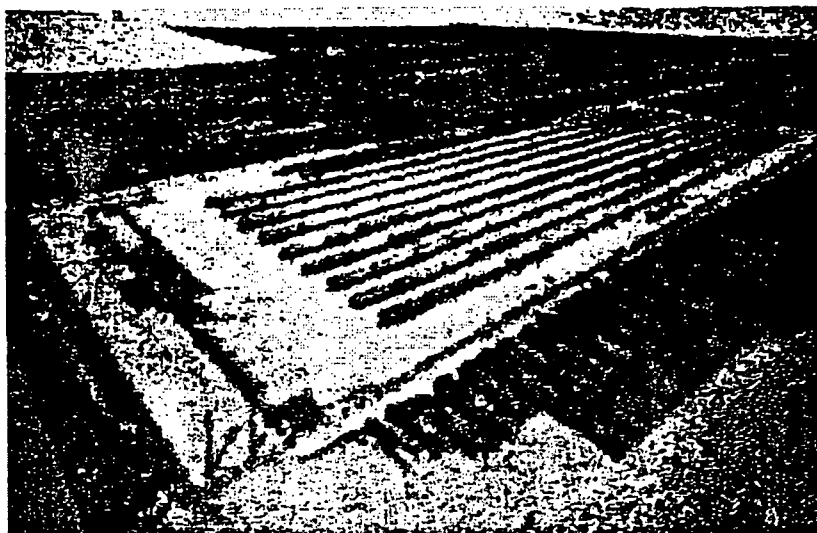
Figur 16.  
Målinger af 1991 energiproduktion for PVUSA Davis EMT1 installationer (søjler), og 30° solindstråling for året 1991 (kurve med \*) og langtidsmiddel-indstråling (o). (PVUSA, 1992)



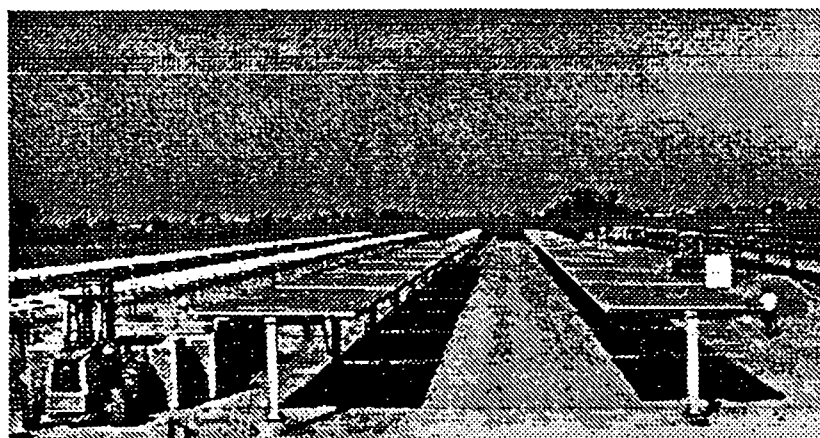
Figur 17.  
Kapacitetsfaktorer i % for 1991, for EMT 1 installationerne ved PVUSA i Davis, CA og Maui, Hawaii. Den højeste kurve er for et anlæg med tracking langs to akser (Entech). (PVUSA, 1992).



Figur 18  
Islanding test ved PVUSA EMT 1 installationen (se tekst) (PVUSA, 1992)



Figur 19  
Skitse af 500 kW  
installationen  
i PVUSA, Kerman.



Figur 20  
500 kW Siemens  
moduler i PVUSA,  
Kerman, Califor-  
nien, klar til  
idrifftagelse i  
1993.

store vindstyrker lukker et beskyttende dække over modulerne, og disse parkeres parallelt med jordoverfladen.

Figurerne 11-15 viser en række af PVUSA installationerne ved Davis. De nye installationer ved Kerman længere sydpå i Californien er netop blevet færdige, og vil snart blive sat i drift. Figur 19 og 20 viser hhv. en skitse over installationen, og et fotografi. Modulerne af krystallinsk silicium er fra Siemens, og der er passiv tracking i en retning ligesom for Davis installationen. Inverteren er fra firmaet Omnion, og installationens samlede effekt er 500 kW.

Forsøgene i Davis har for 20 kW anlæggenes vedkommende stået på i op til 3 år. Figur 16 viser energiproduktionen i 1991, for de 5 anlæg. Det ses at effektiviteten er lidt højere i vintermånederne, som må formodes at have mere spredt lys. Dette er en følge af den spektrale følsomhed af cellerne, en omstændighed der kan anses for positiv set fra et dansk synspunkt, idet vores andel af spredt lys er betydeligt større end i Californien.

Kapacitetsfaktorerne for ny-teknologi anlæggene er vist på Figur 17. Entech's anlæg med koncentratorer når over 30% i sommermånederne, de øvrige omkring 20%.

Figur 18 stammer fra et af de forsøg, som er udført på PVUSA installationen for at belyse sikkerhedsforholdene ved nettilsluttede solcelle-anlæg. Figuren viser som funktion af tiden effekt-forløbet for EMT-1 anlæggene, efter at nettet er blevet frakoblet på den fjerne side af PV-systemets inverter. Dvs at hele PV-anlægget og dets kunstige belastning (en restor-bank med blæse-aggregat) er afkoblet fra nettet, og derfor burde lukke ned, så det bliver sikkert for mandskab der måtte foretage reparationer på nettet. Som det ses af figuren, er der omstændigheder, hvor dette kun sker efter lang tids forsinkelse (langt udover skalaen på figuren: op til 11 minutter er målt). Situationen forekommer når lokal-belastningen er afpasset til produktionen (forholdet lige over 1), og benævnes "islanding", dvs at solcelle-anlægget og den lokale belastning udgør en ø i elsystemet, således at det lokalt slet ikke mærkes, at resten af nettet er faldet bort. Under forsøgene fandtes den lokale netfrekvens kun at afvige med op til 0.5 Hz, under den 11 minutter lange fase. PVUSA's invertere anvender frekvens og spændings-registrering til at teste for bortfald af nettet (PVUSA, 1992).

Islanding problemet, som først blev observeret på Rokko Island installationen i Japan, har givet stof til en række ideer om nye inverter-typer og andet særligt udstyr, som bedre kan detektere bortfald af nettet. En række mulige løsninger er foreslået, og de mest lovende vil blive afprøvet i den kommende tid (eksempelvis at pålægge inverteren en bias, som gør at frekvensstabiliteten hurtigere kompromitteres, når den ikke opretholdes af et stort elnet, cf. Spooner, 1992).

#### 2.2.4. Pacific Power and Gas Utility, Research Division, San Ramon, California

PG&E havde i 1992 1100 PV-anlæg, hvor øvrige el-selskaber i USA tilsammen havde 210 anlæg (primært i Florida, Colorado og Arizona). Ca. 80% af PG&E's PV-anlæg leverer kraft til computere og målere engageret i monitoring og kontrol af gasledningsnettet. Hertil kommer sensorer til niveaumålinger i vandkraftreservoirs, mikrobølge repeater-stationer, advarselslamper til flytrafik, katodisk beskyttelse af ledninger, meteorologiske målestationer, automatiske hegn med port-åbnere, opladning af nødbatterier og sirener. Endelig demonstrations-anlæg for forskellige typer af PV-anlæg, fra fast monterede "én-sol" anlæg til koncentrerende og sol-følgende anlæg.

Som det første el-selskab tilbyder PG&E nye kunder at installere PV-anlæg, hvis dette er billigere end at forlænge nettilslutning til den nye kunde. Figur 34 viser, at det ifgl. PG&E's beregninger er ret beskedne netudvidelser, som bliver dyrere end stand-alone PV-anlæg.

PG&E's meget store indsats for demonstration af fotovoltaisk energi er kulmineret med 500 kW installationen i Kerman. Dette anlæg vil levere data de næste år, som anses at kunne give værdifuld indsigt i driften af store PV anlæg. PG&E regner ikke med at satse yderligere penge på store anlæg i de nærmeste år, men vil se på distribueret PV, monteret på bygninger og tagflader. Det indrømmes, at USA er bagud på dette område, sammenlignet med Europa. Der har den sidste tid været kritik af PG&E's store indsats på PV-området, bl.a. fra el-abonnenterne i Californien, som synes det er uretfærdigt, at de skal betale for denne forskning og udvikling, som kommer alle USA's elværker til gode. PG&E anser dette argument for at være tvivlsomt, idet Californiens befolkning også vil få fordelene af fotovoltaisk teknologi før de øvrige stater. Imidlertid giver kritikken, sammen med de generelle diskussioner af el-sektorens fremtid (privatisering, mm.) anledning til at reducere forventningerne til fremtidige PG&E investeringer indenfor vedvarende energi.

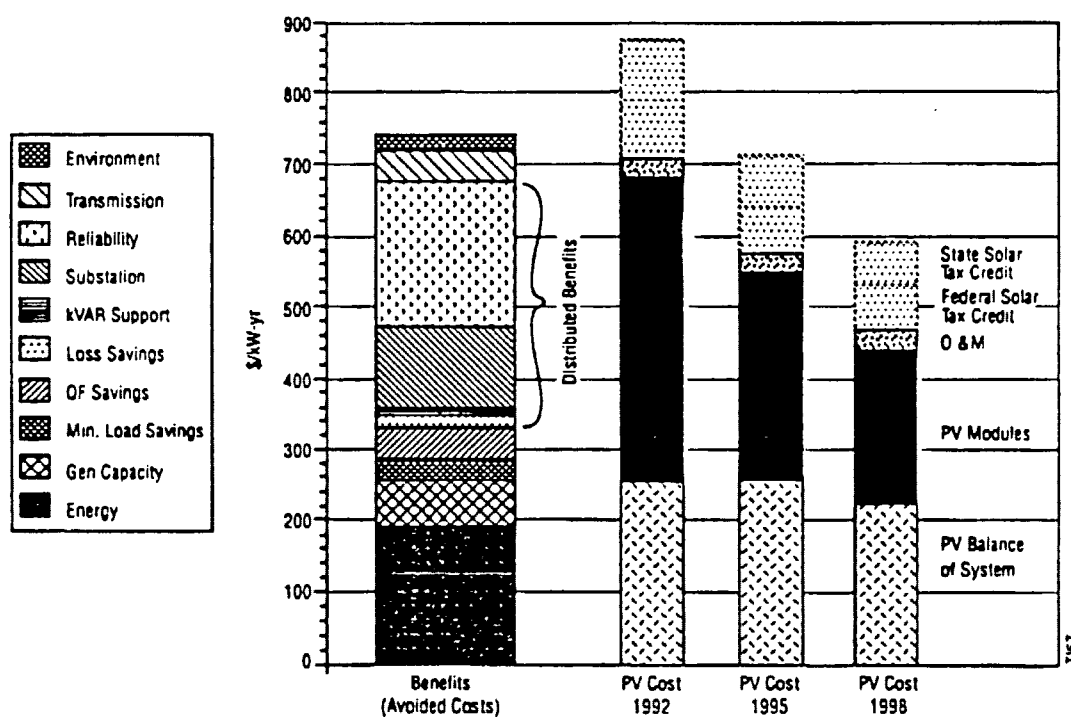
Det er PG&E's håb, at netop åbningen af elnettet for uafhængige producenter (idag dækkes allerede ca. 10% af energistrømmen gennem PG&E's transmissionsnet af industriel co-produktion) vil føre til, at der etableres nye elproducenter baseret på fotovoltaisk teknologi. Økonomiske overslag synes at vise, at sådanne småproducenter vil kunne levere PV-produceret strøm betydeligt billigere end PG&E selv kunne, pga. el-selskabets meget store overhead udgifter. Det understreges, at den amerikanske PV-fremstillingsindustri idag er i stand til at levere 15-20 MW installeret kapacitet om året, og at disse faciliteter langt fra udnyttes fuldtud.

På spørgsmålet, om PG&E's finansieringsudgifter ikke ville være mindre end uafhængige producenters, indrømmes at dette nok er tilfældet, men der sættes lid til, at det amerikanske Energiministerium under Clinton-administrationen vil etablere finansieringsmuligheder for uafhængige producenter af vedvarende energi, som vil gøre denne struktur mulig på et tidligere tidspunkt, end elværkerne selv økonomisk ville kunne forsvare at gå ind i fx. fotovoltaisk el-produktion.



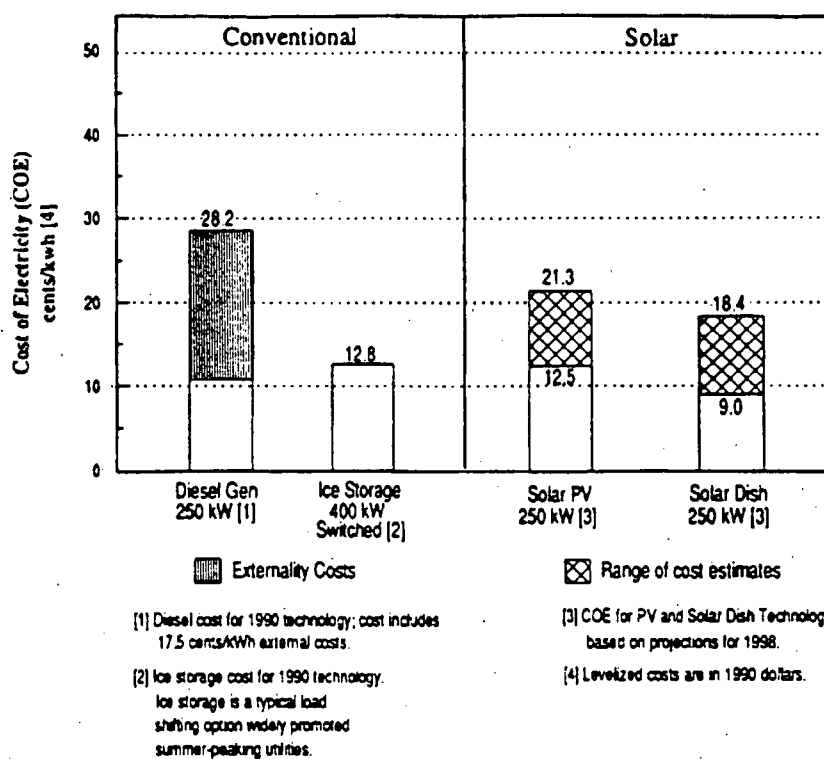
PG&E har arbejdet en del med fremskrivninger af PV priser og forudsætninger for at kunne markedsføre hensigtsmæssige systemer, især til el-selskaberne i USA. Figur 21 viser en beregning af såvel udgifter som indtægter. PV udgifterne er baseret på forventning om faldende modulpriser og uændret pris for resten af systemet (BoS). Indtægterne er udover den producerede elektricitet forbundet med de tidligere omtalte positive effekter på elnettets pålidelighed og besparelser forbundet med ikke at skulle levere reaktiv kraft i nettets yderområder. Hertil kommer direkte besparelser ved ikke at skulle udbygge transmissionsnettet så hurtigt som hvis der ikke var tilkoblet PV-systemer, og nogle (såvidt jeg kan skønne undervurderede) miljøfordele.

Dan Shugars gruppe i PG&E's forskningsafdeling i San Ramon har også lavet en række sammenligninger mellem termisk solelektricitet og PV. PG&E opererer forsøgsanlæg af begge typer. De termiske anlæg består af en række spejle, der samler sollyset ikke på en solcelle, men på et absorberende medium som anvendes til at drive en sædvanlig damp turbine. Det fundne resultat er, at de termiske anlæg idag er lidt billigere end dem som baserer sig på fotovoltaiske celler, men begge billigere end diesel generatorer (Figur 22). For diesel anlægget er over halvdelen af omkostningerne miljøomkostninger, som PG&E således har forsøgt at vurdere (Shugar et al., 1991).



Figur 21

PG&E's beregning af fordele og ulemper ved PV-elanlæg, baseret på tal taget fra Kerman projektet (cf. afsnit 2.2.3). (Iannucci og Shugar, 1991)



Figur 22

Sammenligning mellem beregnede priser på strøm frembragt ved PV, termisk solelektricitet eller ved konventionelle elfremstillingsmetoder såsom dieselgeneratorer (is-lager konceptet er et andet amerikansk forskningsprojekt). (Shugar et al. 1991).

### 2.2.5. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

Det amerikanske solenergi-forskningsinstitut blev etableret sidst i 1970'erne under president Carter. I 1989 blev det udnævnt til et Nationalt Forskningslaboratorium, og fik samtidig navneforandring til NREL. Denne status sikrer større midler fra Energiministeriet, og mere langsigtet finansiering. NREL har idag ca. 1000 medarbejdere, af hvilke godt 300 er beskæftiget med fotovoltaisk forskning. Al afprøvning og certificering af PV-systemer er henlagt til NREL, bortset fra koncentrerende systemer, der afprøves på Sandia Laboratories i Albuquerque. Disse Laboratorier synes ikke helt enige om fordelingen, og der foregår idag en del dobbeltarbejde, men det skønnes at NREL på længere sigt har de bedste muligheder for at varetage området, fordi NREL er dedikeret til vedvarende energiforskning, mens denne aktivitet er et lille hjørne af Sandia's primært militært orienterede forskning.

Herudover foretager NREL konkret forskning indenfor alle typer af solceller og -systemer. PV-programmet er NREL's største. De øvrige programmer handler om alternative brændsler (biomasse-baseret brændsel) og industrielle processer. NREL har en række internationale programmer og samarbejder, bl.a. med Brasilien og Saudi Arabien (pt. hvilende). NREL afprøver ikke alene celler (uden beregning) for amerikanske universiteter og producenter, men også for en række udenlandske forskningscentre og fremstillingsvirksomheder. Evt. afprøvning af dansk-producerede celler vil blive hilst velkommen.

Grundlaget for NREL's forskning idag er det amerikanske energiministeriums plan "Energy 2000", som udkom i begyndelsen af 1992 (US DoE, 1992) og hertil knyttede programmer som PVMaT programmet (PV Manufacturing Technology Project, cf. US DoE's PV Program Plan 1991-1995, udgivet 1991). Den tidligere administration afsatte \$ 55 mio. til PVMaT projektet, mens det samlede FoU tilskud ikke var fastlagt (Rannels, 1993). Der er forventning om, at den nye administration vil afsætte et ganske betydeligt beløb til PV forskning og udvikling.

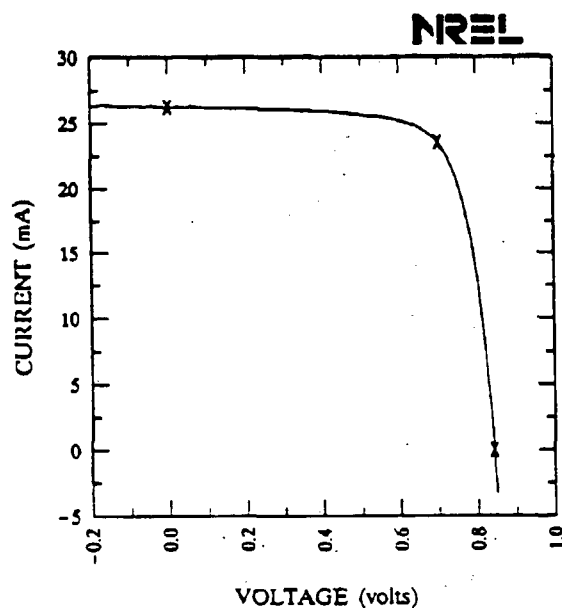
#### 2.2.5.1 Afprøvning af celler og moduler

NREL modtager idag celler fra såvel forskningslaboratorier som fabrikanten fra hele verden, til analyse og bestemmelse af karakteristisk ydeevne under standardiserede forhold. Det er af stor betydning for området, at der findes uafhængige institutioner, som kan levere sådan bedømmelse. Idag tager NREL i modsætning til tilsvarende målecentre i Europa (Ispra, ECN og Fraunhofer) ikke betaling for undersøgelserne. Danske forskere og producenter er velkomne til at udnytte denne afprøvningsmulighed (og denne rapport forfatter etablerer gerne kontakten, hvis der er behov herfor). Figur 23 giver et eksempel på NREL's måling af en celle, med IV-kurve og effektivitet som de vigtigste resultater.

Afprøvningen af en celle er ikke en helt simpel opgave. Indstrålingen på cellen skal både være veldefineret og reproducerbar, og tillige så nær ved realistiske forhold i marken som muligt. Det er valgt at simulere sollyset på en klar dag. En alternativ måde vil være at definere flere "kunstige sole" svarende til forskellige typiske sommer- og vinterdage (klar,

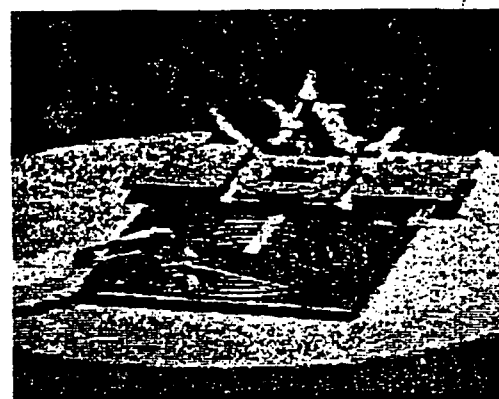
# Univ South Florida, CdS/CdTe Global

Sample: 6-1B-6-B      Temperature = 25.0°C  
 Jun. 26, 1992 11:41 am      Area = 1.047 cm<sup>2</sup>



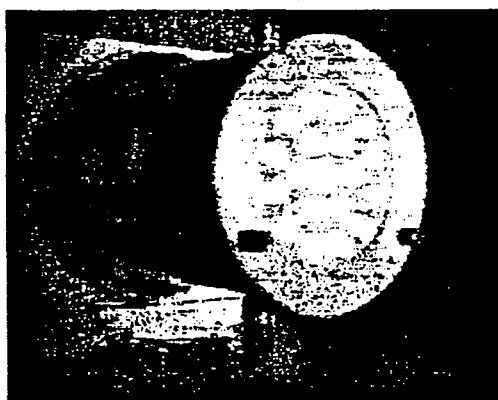
$V_{oc} = 0.8429$  volts       $I_{sc} = 26.26$  mA  
 $J_{sc} = 25.09$  mA/cm<sup>2</sup>       $P_{max} = 16.49$  mW  
 Fill factor = 74.48 %       $I_{max} = 23.56$  mA  
 Efficiency = 15.8 %       $V_{max} = 0.6997$  V

← Figur 23  
 Måleblad fra NREL måling af IV-kurve og effektivitet for CdS/CdTe tandem celle. (Kazmerski, 1993).

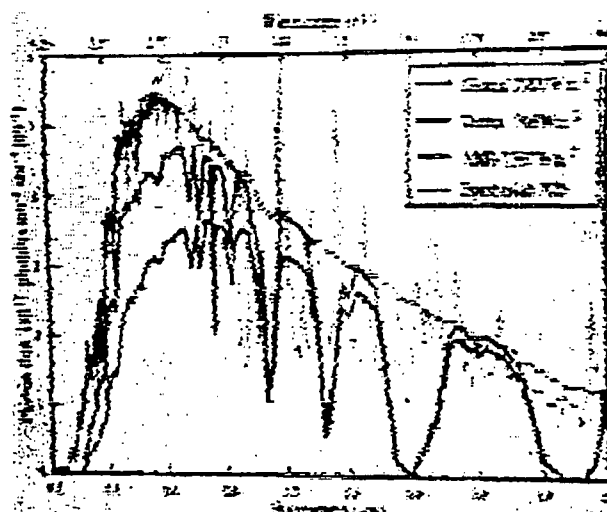


Figur 24  
 Target-område i NREL's opstilling til måling af solcellers effektivitet.

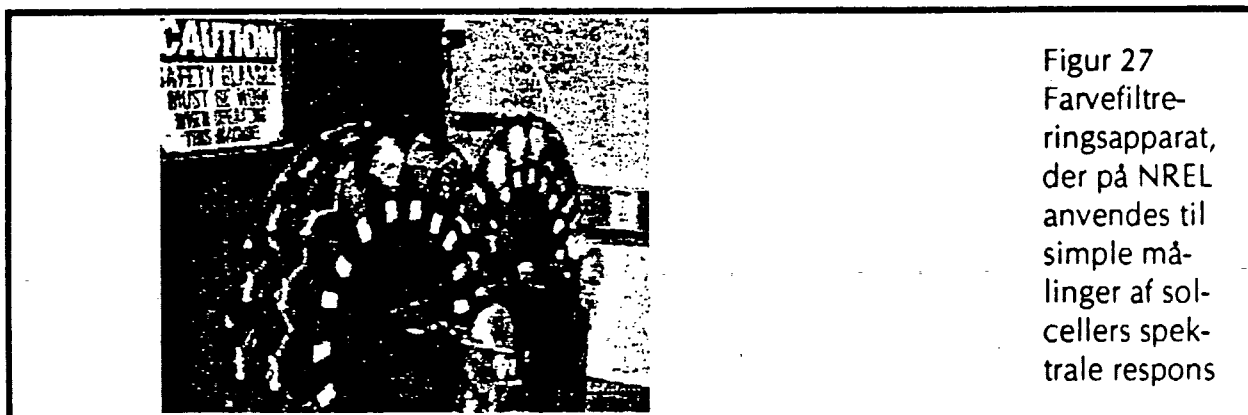
↓ Figur 26  
 Tre solsprektr (sorte kurver) og spektret af den kunstige lyskilde (grå, med meget store udsving), som anvendes på NREL



Figur 25  
 Filter-arrangement på NREL's lyskilde til solcellemålinger.



skyet, forurenet, osv.). Der er så konstrueret en lyskilde som ved hjælp af en række spektralfiltre har intensiteter i hvert bølgelinjeområde, som er nær solspektrrets. Da selve lyskilden imidlertid bygger på andre atomare processer end de solen virksomme, og da lyset ikke passerer præcis de samme absorberende atomer som de i jordens atmosfære forekommende, så er der alligevel en række forskelle i detaljerne (absorptionslinjer mm.) mellem referencespektret for NREL målingerne og sollyset i det fri. Figur 24 og 25 viser måleopstillingen og den kunstige lyskildes filtersektion. Andre laboratorier benytter mere end en lyskilde til at simulere sollyset, men NREL-afdelingens ansvarlige forsker, Keith Emery, mener at fokuseringsproblemerne forbundet med mere end én lyskilde er en større kilde til usikkerhed end hans mange-komponent filter. Figur 26 viser, hvor nær solspektrret



Figur 27  
Farvefilter-  
ringsapparat,  
der på NREL  
anvendes til  
simple må-  
linger af sol-  
cellers spek-  
trale respons

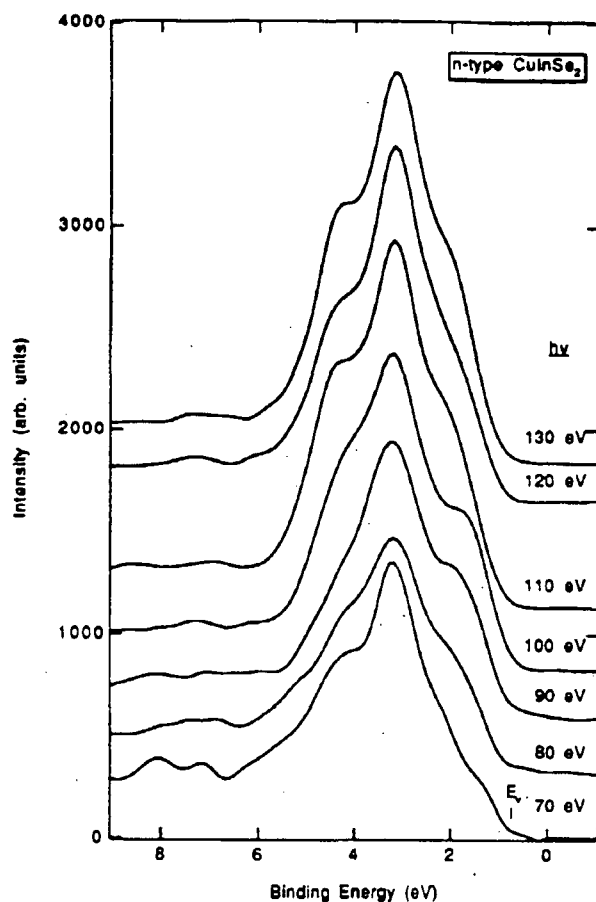
den kunstige lyskilde kommer. Forskellene ligger især i enkelte spektrallinjer.

Det er Keith Emery's opfattelse, at den absolutte usikkerhed på effektivitetsmålingerne er plus/minus 2%, mens den relative usikkerhed er under 1%. Det betyder at der ikke kan fæstes lid til 1 eller 2 procents forskelle i målinger foretaget på forskellige laboratorier med forskellige forsøgsopstillinger, men nok til tilsvarende undersøgelser af to celler på samme laboratorium og med samme opstilling. Dette er baggrunden for, at NREL opfordrer alle fabrikanter og forskere over hele verden til at indlevere deres celler her, og begrundelsen for at tilbyde standard-målingen som en gratis service.

Afdelingen foretager en række andre målinger på celler, såsom spektrale målinger (baseret på et antal roterende filtre (Figur 27). I 1991 blev der ialt foretaget 1600 målinger på celler og 1200 på moduler.

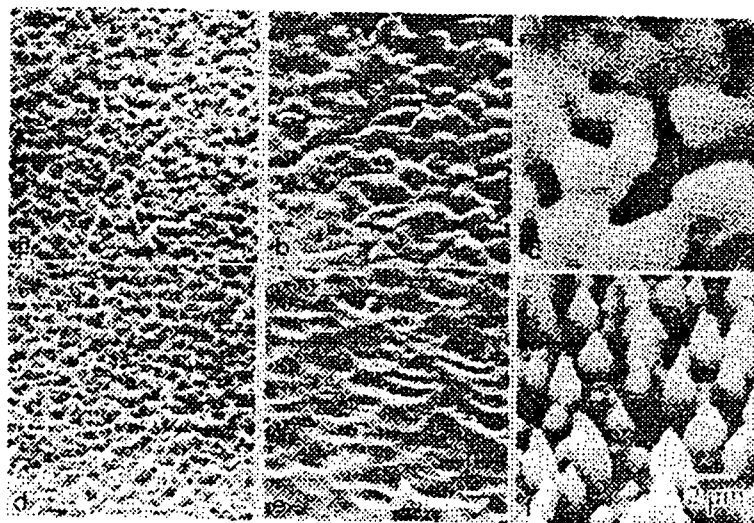
Andre afdelinger arbejder med karakterisering af celler og cellematerialer ved hjælp af elektro-optiske metoder (Dr. Arenkiel) og overfladeanalyse (Dr. Czanderna). Ahrenkiel's afdeling har udviklet en metode til måling af minority-carrier levetider ved hjælp af fotoluminescens målinger, der foretages løbende i en tidslig dimension. Herved måles overskudstætheden af minoritets carriers (ladningsbærere) direkte, hvilket giver en vigtig brik til forståelsen og til validering af modeller af cellernes struktur (Ahrenkiel, 1992). Nogle af Czanderna's arbejder omtales nedenfor i afsnit 2.2.5.4.

Desuden har NREL et afprøvningsområde på en bjergskråning nær Golden, hvor der udføres feltmålinger og langtids holdbarheds-tests, herunder forsøg med fremskyndet



Figur 28

Energibånd-strukturen i n-type  $\text{CuInSe}_2$ , som er renset og klar til påføring af CdS laget i den fortsatte solcellefabrikations-process. Karakterisering af båndstrukturen sker ved bestråling af materialet med synkrotronstråling og efterfølgende detektion af udsendte fotoner. Selve bestrålingen foregår ved University of Wisconsin's 1 GeV lagring. Målingerne sammenlignes med teoretiske båndgaps-beregninger, og tjener dermed til finjustering af modeller, såvel som til at skaffe kendskab til materialernes opførsel. Begge er forudsætninger for optimering af effektiviteten. (Osterwald og Dippo, 1992)



Figur 29

Scanning Electron Microscope foto af CdTe overflade; øverst: a) som påført ved electroplating, b) efter 1 times annealing ved  $425^\circ\text{C}$ , c) påført ved sprøjteprocess. De tre billeder nederst repræsenterer samme metoder plus ionstråle sputtering. (Kayes og Dippo, 1991)

ældning. Her anvendes opstillinger, hvor et modul udsættes for rystelser, støv og regn/hagl/sne i hurtigt tempo.

#### 2.2.5.2 Materialeteknologisk forskning

En vigtig del af celle-karakteriseringen er bestemmelsen af effekten af forskellige grader af doping. Dette undersøges af Lawrence Kazmerski ved brug af synkrotron-stråling og fotoemissions-spektroskopi i det bløde røntgenområde. Et eksempel på måleresultater opnået ved denne metode er vist i Figur 28. Elektronmikroskopi anvendes til karakterisering af overflader og grænseflader mellem de forskellige lag i solcellerne (Figur 29). Disse målinger suppleres med røntgendiffraktions-spektre, hvorved de observerede overfladestrukturers baggrund i den molekulære struktur kan bestemmes. NREL arbejder med en lang række materialer og en lang række solcelle-typer, inklusiv nogle baseret på mere eller mindre eksotiske materialer (fx. højtemperatur-superledere som YBaCuO). Systematisk arbejdes der med GaAs, CdS, CdTe celler, foruden celler baseret på (krystallinsk, polykrystallinsk eller amorf) Silicium.

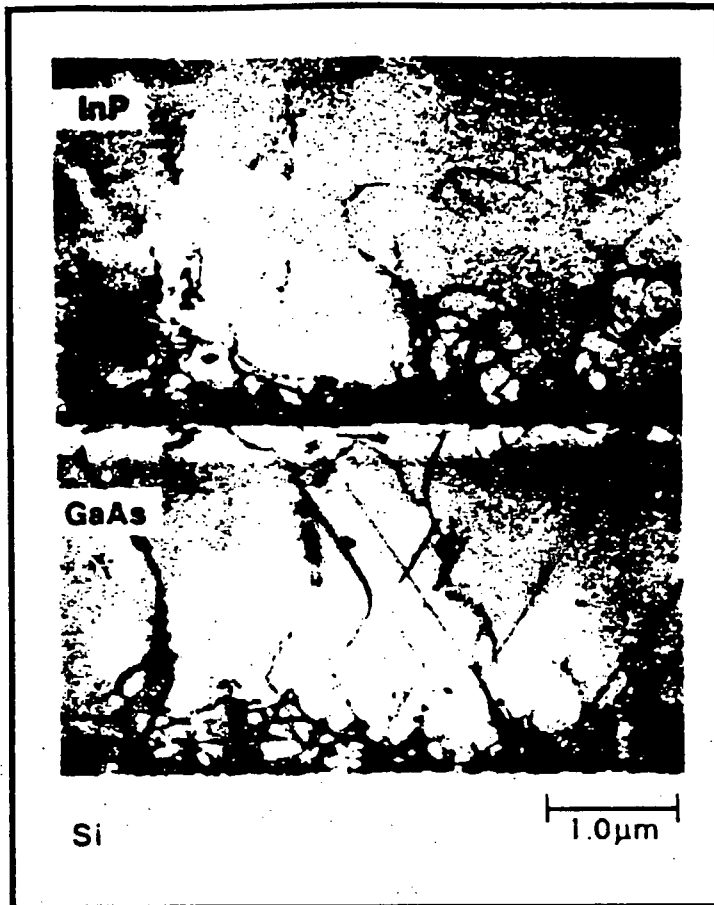
Flere af forskerne gav udtryk for, at de forventede at nye celletyper ville overtage silicium-cellernes centrale plads, begyndende om ca. 10 år og i det lange løb helt udkonkurrerende silicium-teknologien. Jokere i dette spil ville være miljøpåvirkninger forbundet med celleproduktion, snarere end tilgængelighed af materialer. At prisen ved masseproduktion kunne bringes meget langt ned var ingen tilsyneladende i tvivl om. Det var tydeligt at forskerne anså høj effektivitet for en vigtig parameter, og generelt var de ikke overbeviste om, at amorf celler ville beholde deres fremtrædende plads i det lange løb. De amerikanske forskere var her tydeligt uenige med deres japanske kolleger.

#### 2.2.5.3 Miljøeffekter ved polykrystallinske cellers produktion og brug

Da NREL's forskere ser tynd-films teknologier baseret på cadmium-tellurid eller kobber-indium di-selenid som lovende, har centret indledt miljøstudier af de involverede stoffers brug under produktion, solcelle-drift og slut-disponering. Især har interessen samlet sig om cadmium, som er en alvorlig gift hvis det tilføres miljøet på en måde som åbner mulighed for at mennesker senere indtager det, og selen, der kun tåles i mindre mængder i menneskets krop. Indledende studier identificerer en række punkter, som skal undersøges nærmere (Moskowitz et al., 1990), og tanker om genbrugsordninger har været fremsat (Moskowitz og Zweibel, 1992). Disse arbejder vil blive inddraget i en diskussion af livscyklus påvirkninger fra solceller i en senere rapport.

#### 2.2.5.4 Degradering af PV plastfilm

I 1991 rapporteredes en kraftig gul-brun farvning af solcelle-panelerne ved Carrisa Plains installationen i Californien (Schaefer et al., 1991). Samtidig fandtes effektiviteten af cellerne reduceret med i nogle tilfælde over 50%. Over 5 år er det samlede fald i anlæggets effek-

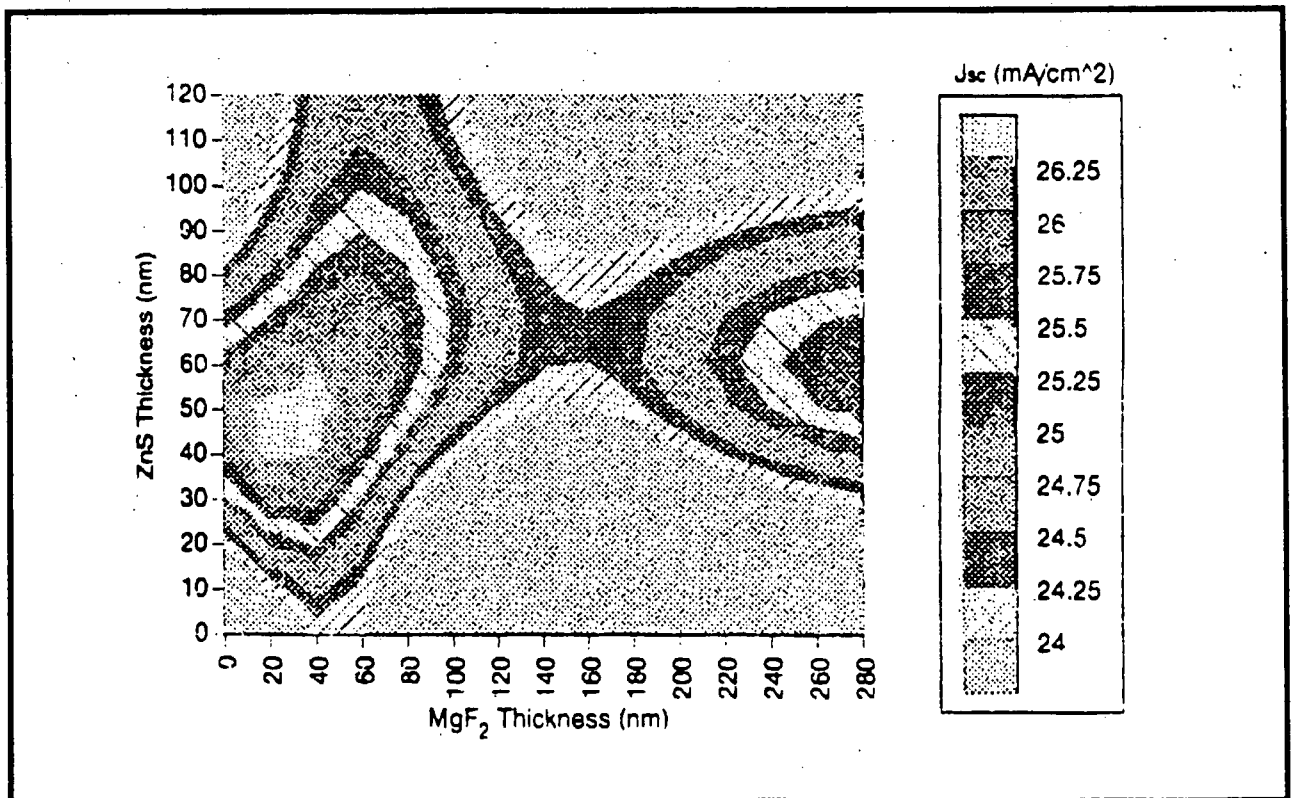


← Figur 30

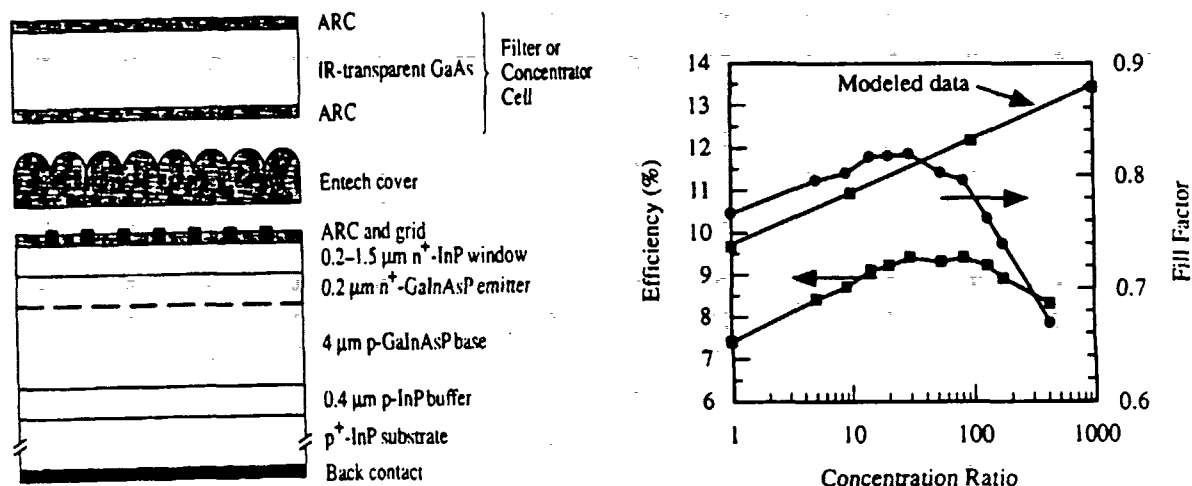
NREL benytter gennemgangs-elektronmikroskopi til at undersøge den interne struktur af solcelle-materialer, som her overgangen mellem et InP lag udsat for annealing, og et bundlag af GaAs. Disse målinger sigter på at bestemme gryn-struktur og bestemme lokale krystalplaner i polykrystallinske materialer. Målingerne er også udgangspunkt for vurderinger af rekombinationsrater (Keyes og Dippo, 1991)

↓ Figur 31

Undersøgelse af anti-refleksions overflade-belægninger til solceller ved hjælp af et ellipsometer (et specialkonstrueret bredbånds-spektrometer). Figuren viser kortslutnings-strømmen som funktion af tykkelserne af to coating-lag: ZnS og  $\text{MgF}_2$ . (Keyes og Dippo, 1991).



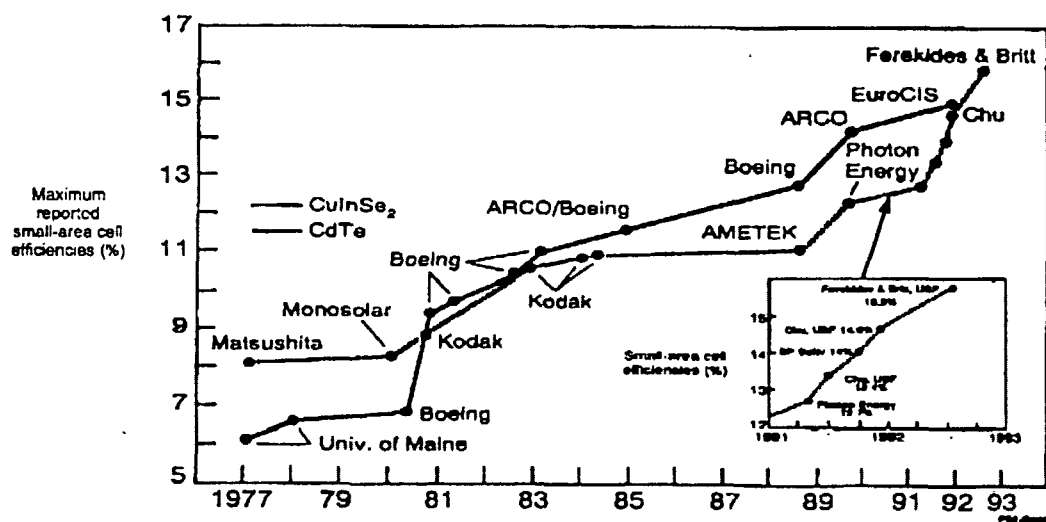




Figur 32

Struktur af tandem-celle baseret på GaAs og en sammensat gitterstruktur  $\text{Ga}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{As}_{0.54}\text{P}_{0.46}$  udviklet på NREL. Til højre vises cellens effektivitet, som funktion af koncentrationsforholdet (altså hvor mange gange standard-solindstråling der anvendes). Der vises også fill-faktoren (det maksimale effekt-output divideret med spændingen for en åben kreds og med kortslutningsstrømmen). (Keyes og Dipko, 1991)

### Polycrystalline Thin-Film Cell Efficiencies (Reported; Active Area)



Figur 33

Udviklingen i effektivitet af polykrystallinske celler (under laboratorieførhold) (Zweibel, 1993)

tivitet ca. 40%. Carrisa Plains består af paneler med 2-akse tracking og sidespejle, som giver en koncentration på en faktor 2. Installationen 1983-85 blev bekostet af ARCO Solar (nu Siemens), som ville demonstrere konceptets anvendelighed til el-værks brug. De sidste år er panelerne taget ned for i renoveret form at blive solgt til stand-alone system brug.

Problemet blev hurtigt henført til den indkapsling af etylen vinylacetat, som påsprøjtes ovenpå selve cellen før dæklags-glasset lægges over. Dette lag er nødvendigt dels for at beskytte cellen mod ridser mv., og dels for ikke at skabe mulighed for ekstra refleksioner mellem celle og dækglass. Den første funktion kræves også for celler uden dækglass.

NREL's målinger viser, at gul-farvningen skyldes lys-induceret omdannelse af den molekylære struktur i EVA materialet: Den ultraviolet-absorberende bestanddel (Cyasorb UV531) reduceres og istedet forøges mængden af gelé-agtige bestanddele 5-10%, som følge af dannelsen af nye, tilfældigt orienterede molekylbindinger på tværs i stoffet. Dette forklarer både gulfarvningen og tabet af solcelle-virkningsgrad. Samtidig dannes syrer som eddikesyre, som på længere sigt kan trænge ned i solcellen og ødelægge fx metal-kontakter (Pern og Czanderna, 1992).

Hastigheden af degraderingen afhænger direkte af bestrålingen. I mørke sker ingen degradering, og anvendelsen af koncentratorer har fremskyndet gulfarvningen i Carrisa Plains tilfældet. Andre anlæg uden koncentratorer har først udvist degradering efter henved 10 års drift (fx Las Cruces, New Mexico). Endvidere er der fundet en temperatur-afhængighed, idet områder, der har været stærkt ventileret, ikke er skadet så meget som områder hvor temperaturen har været over ca. 50°C. I laboratoriet har NREL fundet stærkt fremskyndet degradering ved temperaturer over 100°C.

Czanderna mener ikke, at der umiddelbart findes alternativer til at anvende EVA. Det vil i bedste fald tage mange år at identificere andet materiale med de ønskede egenskaber. Istedet mener Czanderna, at EVA-materialet bør forbedres så problemet bliver mindre. Han har allerede fundet tilsætningsstoffer, som vil medvirke til at forsinke gul-farvningen og de dermed forbundne tabs-processer, og mener at de næste års forskning vil gøre det muligt at forlænge EVA materialets levetid til at blive sammenlignelig med selve solcellens (eller ihvertfald omkring 25 år).

#### 2.2.5.5 Markedsføring af PV systemer og produkter

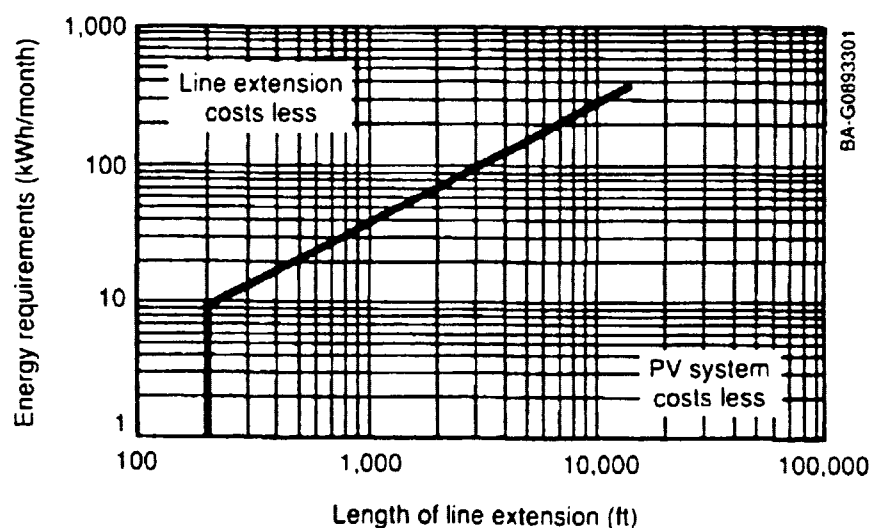
NREL er sammen med en række virksomheder engageret i markedsføring af PV løsninger. Det sker dels under PVMat programmet, som undersøger markedsforholdene i USA og resten af verden, og dels gennem PV:BONUS programmet, der sigter på at markedsføre PV løsninger i bygningssektoren, primært indenfor USA. PV:BONUS programmet arbejder med en række alternative finansierings-muligheder, herunder især el-selskabernes eventuelle finansiering af PV løsninger hos forbrugerne (i lighed med el-selskabernes finansiering af energi-effektivitets foranstaltninger, som har taget et meget stort omfang i bl.a. Californien). Det betyder at el-selskaberne står for servicering af anlæggene, og at omkostningerne lægges som standard-rater der betales løbende via el-regningen. Det vil sige at en

stor del af risikoen flyttes fra den enkelte forbruger til el-selskabet, der selvsagt bedre kan udjævne eventuelle risici.

Blandt de betragtede teknologier er PV-tage (tagmaterialer erstattet af PV-paneler), PV vinduer (gennemsigtige PV-paneler), evt. med variabel transmission ("smart windows"), PV-facader, skodder (der lukkes når solindstrålingen ellers ville gøre indetemperaturen for høj), og PV-vægtæpper.

Endelig har NREL gjort en særlig indsats for at informere embedsmænd og elektricitetskommissioner i de forskellige delstater om mulighederne indenfor PV. Således har staten Colorado vedtaget et regulativ, der pålægger el-selskaberne at give forbrugere, der søger om etablering af elforsyning, og hvis estimerede forbrug er mindre end 1600 kWh gange stiklednings-forlængelsen i kilometer, tilbud på etablering af et decentralt PV-system som alternativ til netværksudvidelsen (Colorado Public Utilities Commission, 1991).

Baggrunden for denne beslutning er beregninger foretaget af elværkernes forskningsinstitut, EPRI, vedr. de to muligheds break-even omkostninger. Resultatet af disse beregninger er vist på Figur 34 ("1 ft" er ca. 0.3m).



PV module cost: \$6/Watt

Total system cost: \$10-\$30/Watt

Figur 34

Beregning af om omkostningerne ved forlængelse af el-ledningerne til en isoleret forbruger er billigere eller dyrere end installation af et PV-system med batterilagring. (NREL, 1992).

### 2.2.6. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia

Solenergiforskningen ved Georgia Tech blev sidste år hædret af regeringen, som med mellemrum udnævner et universitetsinstitut til et "center of excellence". Institutets navn er nu University Center of Excellence for Photovoltaics Research and Education. Centret rummer eksperimentelle faciliteter til fabrikation af solceller, som i omfang minder om de i tidligere afsnit beskrevne ved NREL og UNSW. Omend alle typer af solceller laves og undersøges, er hovedvægten på polykrystallinske celler. Her har centret med 18% produceret den højeste effektivitet af polykrystallinske silicium celler opnået til dato (Rohatgi et al, 1993).

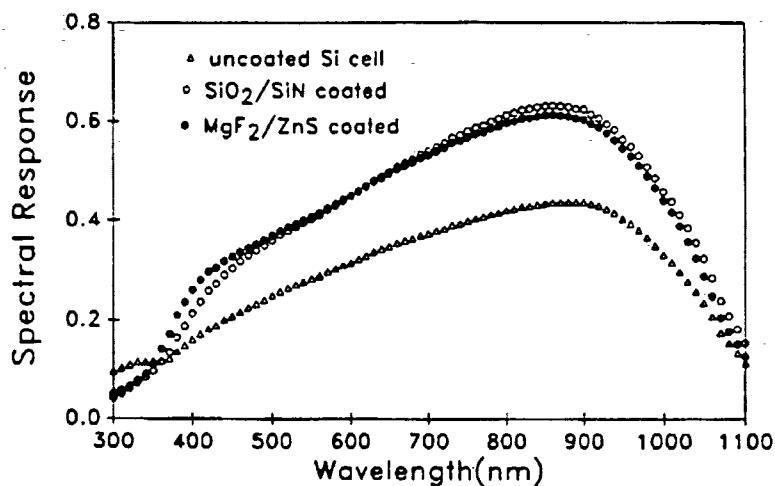
Medvirkende til den høje effektivitet er udviklingen af nye typer af antirefleksions-belægninger, baseret på silicium-forbindelser ( $\text{SiN}$  og  $\text{SiO}_2$ ). Pålægningen foregår ved pådampning af stoffet i en plasma reaktor med påtrykt højfrekvens (Chen et al., 1993). Denne belægning synes at have egenskaber som er bedre end traditionel  $\text{MgF}_2/\text{ZnS}$  film. Figurene 35 og 36 viser udbyttet og reflektionen fra de nye belægninger.

Cellernes  $n^+$ -emitter og  $p^+$ -bagside felter dannes ved behandling med henholdsvis fosfor og aluminium. Fosfor diffunderer ind i celle-materialet ved en såkaldt "gettering"-process ved  $930^\circ\text{C}$ , og den tilsvarende aluminium-process ledsages af oxid deponering ovenpå  $n^+$ -laget. Denne process, der kaldes oxid passivering, har indflydelse på kvante-effektiviteten, som vist på Figur 37. Metoden er essentielt den samme som Martin Green i Australien brugte til sine krystallinske celler. Figur 38 viser NREL's verificering af Georgia Tech's polykrystallinske silicium-celles effektivitet.

Georgia Tech's indgang til solcelle-forskningen er primært teoretisk. Der er ingen planer om at producere færdige moduler, og de enkelte cellers virkemåde studeres ved modellering, både før og efter de er tilvirket og målt i laboratoriet. Som værktøjer til disse beregninger benyttes fortrinsvist et program (PC-1D, version 3.3), der er udviklet af Paul Basore (tidligere på Iowa State University, nu ved Sandia Laboratories i Albuquerque, New Mexico). Programmet er et finite element program, som modellerer elektroners og hullers bevægelse i én dimension, omend visse struktur-effekter i tre dimensioner kan inkluderes. Det teoretiske grundlag er koblede halvleder-transportligninger for de to ladningsbærere. Randeffekter internt og eksternt negligeres, men parametriseres gennem en levetid (bulk lifetime).

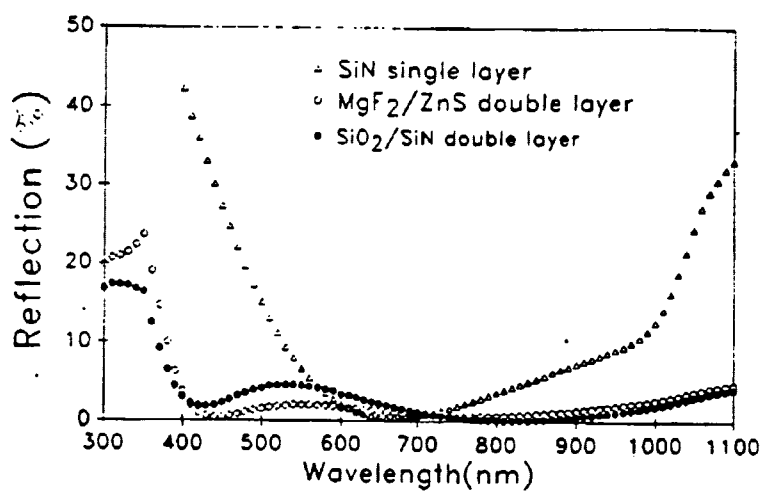
Hvis randeffekter dominerer, vil modellen ikke give korrekte resultater (Basore, 1991). Der er god overensstemmelse mellem Georgia Tech's målinger på den 18% effektive celle og PC-1D programmet, som derfor med vægt kan benyttes til at undersøge virkningen af ændrede parametre. Figur 39 viser effektivitetens afhængighed af bulk levetiden. Den målte levetid var 25 mikrosekunder. PC-1D programmet er alment tilgængeligt.

Dr. Rohatgi's gruppe har suppleret beregningsværktøjet med et ray-tracing program (TEXTURE) til at modellere lysgangen i celler af forskellig udformning. Dette foregår i tre dimensioner, men resultaterne er på en form, som direkte kan læses ind i PC-1D program-



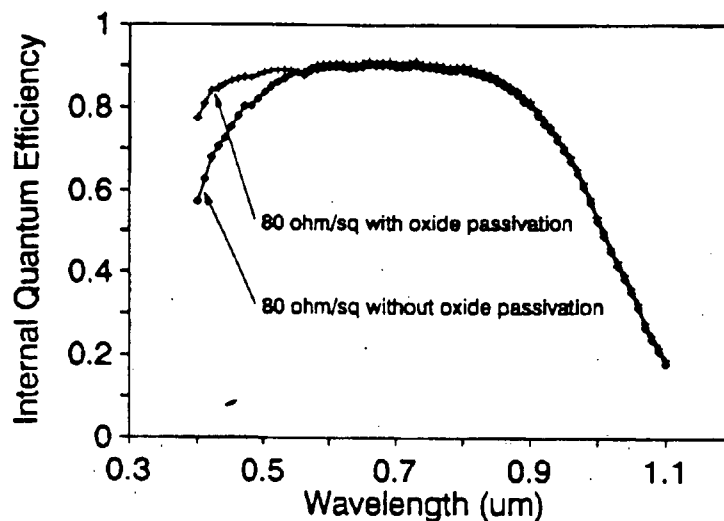
Figur 35

Betydningen af overflade-antirefleks coating vises her ved sammenligning mellem en ikke-coated celle og celler coated med traditionelt anvendt coating eller en ny, på Georgia Tech udviklet coating. (Chen et al., 1993)



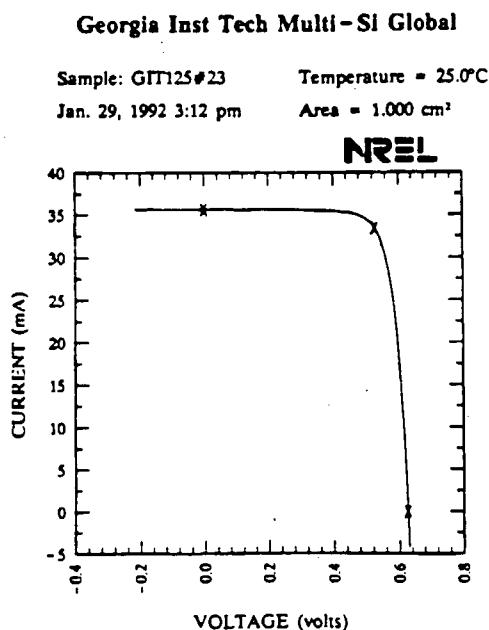
Figur 36

Refleksionsforhold som funktion af bølglængde for de i Figur 35 viste coatningsalternativer. (Chen et al., 1993)



Figur 37

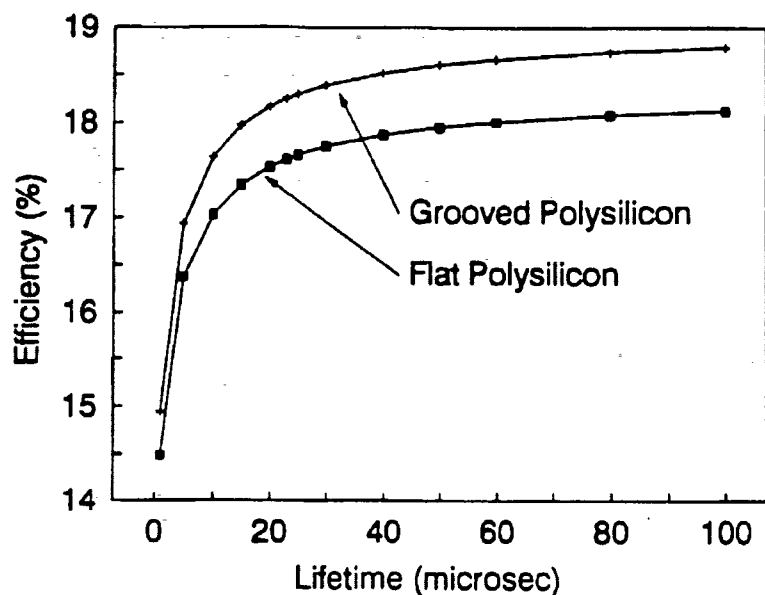
Betydningen af applikationen af et oxid-lag til passivering af  $n^+$ -laget ses at være forbedret kvanteeffektivitet ved korte bølgelængder. (Sana et al., 1993)



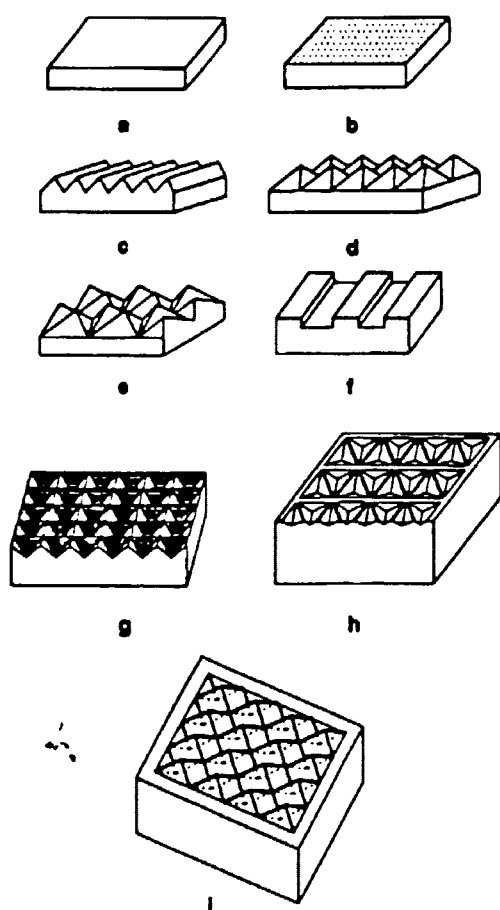
$V_{oc} = 0.6259$  volts       $I_{sc} = 35.60$  mA  
 $J_{sc} = 35.60$  mA/cm<sup>2</sup>       $P_{max} = 17.65$  mW  
 Fill factor = 79.21 %       $I_{max} = 33.40$  mA  
 Efficiency = 17.7 %       $V_{max} = 0.5284$  V

Figur 38

NREL's effektivitetsmåling af den bedste polykrystallinske celle fra Georgia Tech fundet under den i Figur 35-37 illustrerede optimeringsproces.



Figur 39  
Beregninger foretaget ved Georgia Tech, med benyttelse af programmet PC-1D, af effektiviteten for polykrystallinske celler med to typer af overflade, som funktion af bulk levetid. Den for cellerne målte levetid er 25 mikrosek. (Sana et al., 1993).



Figur 40  
Eksempler på overfladestrukturer, som programmet TEXTURE kan behandle. Programmet bruger Monte Carlo ray-tracing teknikker til at beregne indfangningen af sollys. Programmets resultater kan direkte overføres til solcelle-beregningsprogrammet PC-1D. (Smith, 1992)

met. Figur 40 viser nogle af de mulige overfladestrukturer, som programmet TEXTURE kan behandle (Smidt et al., 1990; Smith, 1992). Arlene Smidt arbejder pt. på også at modellere transporten i halvlederene i tre dimensioner.



### 3. REFLEKTIONER

En betydelig del af denne rapport har beskæftiget sig med spørgsmål om solcellers effektivitet, og herunder tiltag til at opnå den størst mulige effektivitet af en given celletype. Dette har sin naturlige forklaring i, at hver af de forskergrupper, som har været besøgt, har givet udtryk for en tilsvarende stor vægt lagt på netop effektiviteten.

Man kan spørge sig, om det ikke blot er et udtryk for forskerens interesse i at være nummer ét på sit område. I sidste ende skulle man tro, at effektiviteten i sig selv var underordnet, og at det som burde optimeres, er prisen på en given mængde produceret solenergi. Den totale pris skal naturligvis omfatte omkostningerne ved at skulle dække et større areal med solpaneler, hvis effektiviteten er lavere, og andre eventuelle ulemper ved lav effektivitet.

Dette er i en vis forstand rigtigt, og hvis alle fordele og ulemper kunne gøres op i pengemål, ville det også være den rigtige vej frem. Imidlertid er der mange forhold ved en ny teknologi som solceller, der ikke idag kan gøres op i penge med nogen præcision, og derfor er der stadigvæk behov for at fremføre kvalitative argumenter til belysning af sådanne forhold. Blandt de forhold, som bør belyses i en diskussion af betydningen af effektivitet, er følgende:

Ved lav effektivitet vil et anlæg med given totaleffekt have flere moduler end et med høj effektivitet, og opsamlingen af effekt fra de forskellige moduler vil bevirke et tab som er større, end hvis den samme effekt blev hentet fra færre moduler. Også mindre terminalspænding vil påvirke tabene i ugunstig retning, afhængig af forholdene i det omgivende miljø (fugtighed mm.). Om selve arealforbruget vil have en negativ økonomisk virkning afhænger af prisen og tilgængeligheden af marginalland. Imidlertid er der for decentrale anlæg det praktiske forhold, at det tilgængelige areal skal passe til det forventede effektforbrug, altså at den mængde elektricitet, som forventes dækkes af solceller, skal være mindre end det mulige udbytte fra alle tilgængelige arealer (fx egnede tagflader). Hvis dette ikke er tilfældet, så vil det ikke være muligt at nå en hensigtsmæssig dækning med solenergi. Disse forhold vil gøre, at løsninger med centrale solcelleanlæg i områder med tilstrækkeligt areal i nogle tilfælde kan blive foretrukket, trods øgede transmissionsomkostninger, og trods dyrere paneler med montering på en form for stativ.

Der er bestræbelser igang for at opgøre en del af disse forhold i monetære enheder, men det er klart den kvalitative vurdering af sådanne forhold, som gør at Europa og Japan med større befolkningstætheder og færre friarealer foretrækker bygningsmonterede solcellesystemer, mens USA, som har store landområder der tillægges meget lille værdi, ser mere seriøst på løsninger der involverer centrale solfarm-anlæg.

Et spørgsmål, som jeg har rejst overfor en række af de interviewede forskere og solkraft-anvendere eller potentielle anvendere, er om teknologien anses for klar, og blot skal billiggøres ved masseproduktion, eller om der er teknologiske forhindringer, som det endnu står tilbage at overvinde.

Blandt de amerikanske forskere er der en klar overvægt af det synspunkt, at der endnu er problemer der skal løses før produktion til fx elværksbrug bliver mulig. Bl.a. skal ældningsproblemet med plastudfyldninger som EVA-laget mellem celler og glas løses. Solcellerne burde selv have levetider på over 25 år uden anden vedligeholdelse end udskiftning af moduler i et panel, hvis der skulle være sket skade på grund af ydre påvirkninger. Det anses derfor ikke for acceptabelt, at komplet integrerede delkomponenter har en betydelig kortere levetid.

Der er andre synspunkter, såsom at kun gennem virkelig brug af teknologien vil problemer blive afdækket og løst, men det synes uomgængeligt, at anlæg integreret i elværksnet må forblive forsøgsanlæg, så længe der er væsentlige udestående problemer. At der på den anden side er tale om problemer som ikke synes uløselige er uomtvisteligt, og meget tyder på at det over en kort periode (5-10 år) skulle være muligt at opnå en kvalitet, som er acceptabel for anvendelse af solceller generelt i elforsynings-systemer, samtidig med at økonomien set i et livscyclus-perspektiv med inklusion af miljø- og andre indirekte påvirkninger bliver sammenlignelig med eller lavere end for de fleste alternativer.

## LITTERATUR

- Ahrenkiel, R. 1992. *Measurement of minority-carrier lifetime by time-resolved photoluminescence*. pp. 239-250 in Solid-State Electronics, vol. 35.
- Basore, P. 1991. *PC-1D. Installation Manual and User's Guide*. Sandia Report SAND91-0516 R UC-274
- Blakers, A. og Green, M. 1986. *20% efficient silicon solar cell*. Applied Physics Letters, vol. 48, pp. 215-217.
- Carr, M. 1992. *State Electricity Commission of Western Australia Program*. pp. 35-38 i "Proc. Workshop on PV in Grid-connected and remote area stand-alone Systems". Centre for PV Devices & Systems Report No. 2. Sydney
- Centre for PV Devices & Systems, 1992. *Annual Report 1991*. University of New South Wales, Sydney.
- Chapin, D., Fuller, C., and Pearson, G. 1954. *A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power*. J. Applied Phys., vol. 25, pp. 676-677.
- Chen, Z., Sana, P., Salami, J. and Rohatgi, A., 1993. *A novel and effective PECVD SiO<sub>2</sub>/SiN Antireflection coating for Si solar cells*. IEEE Transactions, under trykning.
- Colorado Public Utilities Commission, 1991. *Amendment to Rule 31, Section X: PV Cost Comparison*. State of Colorado, Denver
- Firor, K., Vigotti, R. and Iannucci, J., 1992. *Utility field experience with PV systems*. pp. 483-512 in "Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity, Johansson et al., eds.). Island Press, Washington DC
- Green, M. 1991. *Recent Advances in Silicon Solar Cell Performance*. pp. 250-253 in "Proc. 10th European Communities Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisbon". Kluwer Acad. Publ. Dordrecht.
- Green, M. 1992. *Crystalline and polycrystalline silicon solar cells*. pp. 337-360 in "Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity, Johansson et al., eds.). Island Press, Washington DC
- Hoff, T., Shugar, D., Suchard, A., Wenger, H., Lau, K., Ball, G. and Mead, J., 1992. *The PV Grid-support Project at Kerman Substation: Project Plan*. Report 007.5-92.5, Pacific Gas and Electric Co., San Ramon
- Iannucci, J. og Shugar, D. 1991. *Structural Evolution of Utility Systems and its implications for PV Applications*. pp. 566-573 in "Proc. 22nd IEEE PV Specialists Conf., Las Vegas"

Kazmerski, L. and Emery, K. 1992. *Photovoltaic Technologies: from atoms to arrays*. pp. 101-113 in "Renewable Energy Technology and the Environment", vol. 1, (Sayigh, ed.). Pergamon Press, Oxford, and *erratum* (1993).

King, R., Sinton, R. and Swanson, R. 1988. *Front and back surface fields for point-contact solar cells*. 20th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Las Vegas. Records: pp. 538-544.

Moskowitz, P., Zweibel, K. og Fthenakis, V., 1990. *Health, Safety and Environmental Issues relating to Cadmium usage in Photovoltaic Energy Systems*. Solar Energy Research Institute, Report TR-211-3621, Golden

Moskowitz, P. og Zweibel, K. 1992. *Recycling of Cadmium and Selenium from Photovoltaic Modules and Manufacturing Wastes: A workshop report*. Brookhaven National Laboratory Report 47787, Upton, NY

National Renewable Energy Laboratories, 1992. *Questions and Answers: PV for Regulators*. Report TP-411-4749, Golden

Ohl, R.S. 1941. *Light-sensitive electric devices*. US Patent 2.402.622 & 2.443.542 (including silicon).

Osterwald, C. and Dipppo, P. (eds.), 1992. *Fiscal Year 1991 Measurement and Characterization Branch Annual Report*. National Renewable Energy Report TP-412-5160, Golden

Pern, F. and Czanderna, A., 1992. *EVA degradation mechanisms simulating those in PV modules*. In "Proc. 11. PVARD Conf", (Noufi, ed.). AIP Conference Proceedings no. 268; and *Characterization of ethylene vinyl acetate (EVA) encapsulant: Effects of thermal processing and weathering degradation on its discoloration*. pp. 3-23 in Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 25.

PVUSA, 1992. *1991 Progress Report* (Ellyn, W. og Jennings, C., eds.). Report 007.5-92.6

Rannels, J. 1993. *The US Department of Energy PV Program. The Partnership*. In "Proc. 11th European Community PV Energy Conference, Montreux 1992", i tryk.

Rohatgi, A., Sana, P. og Salami, J. 1993. *Record high efficiency solar cells on cast polycrystalline silicon*. In "Proc. 11th European Community PV Energy Conference, Montreux 1992", i tryk.

Sana, P., Salami, J. and Rohatgi, A. 1993. *Fabrication and Analysis of High Efficiency Polycrystalline Silicon Solar Cells*. IEEE Transactions, under trykning.

Schaefer, J., Rosenthat, A., Schlueter, L. and Wenger, H., 1991. *Electrical Degradation of the Carissa Plains Power Plant*. pp. 1248-1253 in "Proc. 10th European Community PV En-

ergy Conference, Lisbon" . Kluwer Academic Press, Dordrecht.

Shugar, D., Eyer, J., Hay, G., Newberger, J. and Kearney, D., 1991. *Comparison of PV with Solar Thermal through electric systems as a central station utility in the 1990s*. pp. 576-585 in "Proc. 22nd IEEE PV Specialists Conf., Las Vegas"

Sinton, R., Kwark, Y., Gan, J. and Swanson, R. 1986. *27.5% silicon concentrator solar cells*. IEEE Electron Device Letters, vol. EDL-7/10, pp. 567-569.

Smith, A. 1992. *TEXTURE: A raytracing program for textured surfaces*. Georgia Institute of Technology, Internal Report and Manual.

Smith, A., Rohatagi, A. and Neel, S. 1990. *Texture: A ray tracing program for the photovoltaic community*. pp. 426-431 in IEEE Transactions.

Spooner, T. 1992. *Power Conditioning Units*. pp. 48-52 in "Proc. Workshop on PV in Grid-connected and remote area stand-alone Systems". Centre for PV Devices & Systems Report No. 2. Sydney

Swanson, R. 1992. *PV central receiver systems*. pp. 1067-1070 in "Solar Engineering, vol. 2" (Stine, Kreider and Watanabe, eds.), American Society for Mechanical Engineering, Washington DC.

Sørensen, B. 1979. *Renewable Energy*. 689 pp. Academic Press, London and New York.

US Department of Energy, 1991. *Photovoltaics. Program Plan. Fiscal Year 1991-1995*. Report CH10093-92. Washington DC.

US Department of Energy, 1992. *Solar 2000 - a collaborative strategy*. Office of Solar Energy Conversion, 2 vols. Washington DC.

Zweibel, K. 1993. *Polycrystalline Thin Films Fiscal Year 1992 Project Report*. National Renewable Energy Laboratory, Golden. Report TP-413-5270

## Appendix.

Aktiviteter relateret til dette projekt:

Oktober 1992:

Diskussion med John Kaye og Martin Green, University of New South Wales Center for Photovoltaic Devices and Systems (sted: Montreux, Schweiz, i anledning af solcellekongference)

December 1992:

Samarbejde med Hugh Outhred, University of New South Wales Center for Photovoltaic Devices and Systems, om systemaspekter ved fotovoltaiske anlæg. (under Hugh Outhred's ophold ved Roskilde Universitet)

Januar 1993:

Diskussion med John Robinson, Sustainable Development Research Institute, Vancouver, BC, Canada

Diskussion med Mike Markovic, British Columbia Energy Council, Canada

Diskussion med Mark Jaccard, formand, British Columbia Utilities Commission, Canada

Diskussion med Jay Willison, BC Hydro, Vancouver, Canada

Diskussion med Edward Kahn og Adele Milne, Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California

Diskussion med Richard Swanson, SunPower, Sunnyvale, California

Diskussion og rundvisning PVUSA, Paul Hutchinson, Endecon, Davis, California

Diskussion med Lee Schipper og Richard Howarth, Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California

Diskussion med J. Lorenzo, Pacific Gas & Electricity Corp., Customer Service, San Francisco, California

(Bent Sørensen's rejse til USA)

Februar 1993:

Diskussion med Dan Shugar, Pacific Gas & Electricity Corp., Research Center, San Ramon, California

Diskussion med Lawrence Kazmerski, PV Measurement & Characteristics Branch, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

Diskussion med Roger Taylor, PV Systems Unit, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

Diskussion med Keith Emery, PV Cell & Module Performance Unit, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

Diskussion med Ken Zweibel, Polycrystalline PV Program, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

Diskussion med Jack Stone, PV Technology Director, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

Diskussion med Laxmi Mrig, PV Module Technology Unit, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

Diskussion med Richard Ahrenkiel, PV Electro-Optical Characterization Unit, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

Diskussion med Al Czanderna, PV Reliability Unit, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

Diskussion med Ron Larson og Ted Flannigan, energikonsulenter i Colorado-området

Diskussion med Ajeet Rohatgi, direktør for Center of Excellence for Photovoltaic Research and Education. Georgia Institute of Technology, Atlanta

Diskussion med Jalal Salami, teknisk leder, Center of Excellence for Photovoltaic Research and Education. Georgia Institute of Technology, Atlanta

Diskussion med Gerald Crotty, seniorforsker, Center of Excellence for Photovoltaic Research and Education. Georgia Institute of Technology, Atlanta

(Bent Sørensen's rejse til USA)

- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt.  
Projektrapport af: Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt.  
Vejleder: Anders Madsen
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsermuligheder af natur og samfund.  
Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Krenøe og Peter H. Lassen  
Vejleder: Bernhelm Boss.
- 3/78 "OPCAVESAMLING", breddekursus i fysik.  
Af: Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer og Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen.  
Af: Mogens Niss  
Nr. 4 er p.t. udgået.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE".  
Af: Helge Kragh.  
Nr. 5 er p.t. udgået.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret".  
Af: Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN".  
Af: B.V. Gnedenko.  
Nr. 7 er udgået.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen.  
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinariorum".  
Projektrapport af: Lasse Rasmussen.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 
- 10/79 "THERMODYNAMIK I GYMNASIET".  
Projektrapport af: Jan Christensen og Jeanne Mortensen.  
Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.
- 11/79 "STATISTISKE MATERIALER".  
Af: Jørgen Larsen.
- 12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER".  
Af: Mogens Brun Heefelt.  
Nr. 12 er udgået.
- 13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET".  
Projektrapport af: Gert Kreinøe.  
Vejleder: Albert Chr. Paulsen.
- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of".  
Af: Else Høyrup.  
Nr. 14 er p.t. udgået.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".  
Specialeopgave af: Leif S. Striegler.  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".  
Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".  
Af: Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings af an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978.  
Preprint.  
Af: Bernhelm Booss og Mogens Niss (eds.)
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".  
Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".  
Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.  
Vejleder: Jørgen Larsen
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET-FORMÅL OG KONSEKVENSER".  
Projektrapport af: Crilles Bacher, Per S. Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".  
1-port lineært response og støj i fysikken.  
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of reality".  
Af: Helge Kragh.
- 
- 24/80 "MATEMATIKOFFATTELSER HOS 2. C'ERE".  
a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale.  
Projektrapport af: Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodulet/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER".  
En projektrapport og to artikler.  
Af: Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC'S PHYSICS".  
Af: Helge Kragh.
- 28/80 "DIELECTRIC RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber".  
Projektrapport af: Gert Kreinøe.  
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentiaalligningsmodeller".  
Projektrapport af: Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.  
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".  
Af: Oluf Danielsen.  
Nr. 30 er udgået.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ Mængdelære".  
Projektrapport af: Troels Lange og Jørgen Karrebæk.  
Vejleder: Stig Andur Pedersen.  
Nr. 31 er p.t. udgået.
- 32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMÅLINGER - OG MØSSBAUEREFTEKTIVITETER".  
Projektrapport af: Crilles Bacher og Preben Jensen.  
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK - NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II".  
Af: Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION".  
ENERGY SERIES NO. 1.  
Af: Bent Sørensen  
Nr. 34 er udgået.



- 35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".  
Af: Helge Kragh.
- 36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN?".  
Fire artikler.  
Af: Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".  
ENERGY SERIES NO. 2.  
Af: Bent Sørensen.
- 
- 38/81 "TIL EN HISTORIETORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".  
Projektrapport af: Erik Gade, Hans Heddal, Henrik Lau og Finn Physant.  
Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.  
Nr. 38 er p.t. udgået.
- 39/81 "TIL KRITIKKEN AF VEKSTØKONOMIEN".  
Af: Jens Højgaard Jensen.
- 40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".  
Projektrapport af: Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.  
Vejleder: Per Nørgaard.
- 41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".  
ENERGY SERIES NO. 3.  
Af: Bent Sørensen.
- 42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".  
Af: Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.
- 43/81 1. "COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".  
2. "ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".  
ENERGY SERIES NO. 4.  
Af: Bent Sørensen.
- 44/81 "HISTORISKE UNDERSØGELSER AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".  
Projektrapport af: Niels Thor Nielsen.  
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 
- 45/82 Er aldrig udkommet.
- 46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE-  
1+1 ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".  
Projektrapport af: Torben O. Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.  
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 47/82 "BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".  
ENERGY SERIES NO. 5.  
Af: Bent Sørensen.
- 48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNISKUM".  
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedersen, Laust Rishøj, Lill Røn og Isac Showiki.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".  
Projektrapport af: Preben Nørregaard.  
Vejledere: Jørgen Larsen og Rasmus Ole Rasmussen.
- 50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY".  
ENERGY SERIES NO. 6.  
Rapport af: Bent Christensen, Bent Hove Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.  
Vejleder: Bent Sørensen.
- 51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PICERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK?".  
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.
- 52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS".  
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".  
Af: Arne Jacobsen og Stig Andur Pedersen.
- 54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.  
Af: Stig Andur Pedersen og Johannes Witt-Hansen.
- 55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.  
En biografi.  
Af: Else Højrup.  
  
Vedr. tekst nr. 55/82 se også tekst nr. 62/83.
- 56/82 "EN - TO - MANGE" -  
En undersøgelse af matematisk økologi.  
Projektrapport af: Troels Lange.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 
- 57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET"-  
Skjulte variable i kvantemekanikken?  
Projektrapport af: Tom Juul Andersen.  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.  
Nr. 57 er udgået.
- 58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger over spredning af dyr mellem småbiotoper i agerlandet.  
Projektrapport af: Per Hammershøj Jensen og Lene Vagn Rasmussen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 59/83 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".  
ENERGY SERIES NO. 7.  
Af: Bent Sørensen.
- 60/83 "MATEMATISK MODEKSPERTISE"- et eksempel.  
Projektrapport af: Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og Preben Nørregaard.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION, SOM ET EKSEMPEL PÅ EN NATURVIDENSKAB - HISTORISK SET".  
Projektrapport af: Annette Post Nielsen.  
Vejledere: Jens Højrup, Jens Højgaard Jensen og Jørgen Vogeliuss.
- 62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.  
En biografi 2. rev. udgave.  
Af: Else Højrup.
- 63/83 "CREATING ENERGY FUTURES: A SHORT GUIDE TO ENERGY PLANNING".  
ENERGY SERIES NO. 8.  
Af: David Crossley og Bent Sørensen.
- 64/83 "VON MATEMATIK UND KRIEG".  
Af: Bernhelm Booss og Jens Højrup.
- 65/83 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".  
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Kirsten Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.  
Vejledere: Bernhelm Booss og Klaus Grünbaum.
- 66/83 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I ESCHERICHIA COLI".  
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Ole Richard Jensen og Klavs Frisdahl.  
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen.
- 67/83 "ELEPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEAR PROGRAMMERING?".  
Projektrapport af: Lone Billmann og Lars Boye.  
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK" - til kritikken af teoriladede modeller.  
Projektrapport af: Lise Odgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid og Frank Mølgård Olsen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.

- 69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"  
- en test i l.g med kommentarer.  
Af: Albert C. Paulsen.
- 70/83 "INDLÆRINGS - OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUNDERVISNINGSNIVEAU".  
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreassen, Svend Åge Houmann, Helle Glørup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Vagn Rasmussen.  
Vejleder: Klaus Grünbaum og Anders Hede Madsen.
- 71/83 "PIGER OG FYSIK"  
- et problem og en udfordring for skolen?  
Af: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich og Mette Vedelsby.
- 72/83 "VERDEN IFVLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S Peirce.  
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 73/83 "'EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG"  
- økologisk contra traditionelt.  
ENERGY SERIES NO. 9  
Specialeopgave i fysik af: Bent Hove Jensen.  
Vejleder: Bent Sørensen.
- 
- 74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik.  
Projektrapport af: Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.  
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"  
- Case: Lineær programmering.  
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank Mølgaard Olsen.  
Vejledere: Mogens Brun Heefelt og Jens Bjørneboe.
- 76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et høringssvar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.  
ENERGY SERIES No. 10  
Af: Niels Boye Olsen og Bent Sørensen.
- 77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"  
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller.  
Projektrapport af: Svend Åge Houmann, Keld Nielsen og Susanne Stender.  
Vejledere: Jørgen Larsen og Jens Bjørneboe.
- 78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUR I AMORFT GERMANIUM".  
Specialrapport af: Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen og Finn C. Physant.  
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE".  
Projektrapport af: Henrik Coster, Mikael Wennerberg Johansen, Povl Kattler, Birgitte Lydholm og Morten Overgaard Nielsen.  
Vejleder: Bernhelm Booss.
- 80/84 "KURSUSMATERIALE TIL MATEMATIK B".  
Af: Mogens Brun Heefelt.
- 81/84 "FREKVENSAFHÆNGIG LEDNINGSEVNE I AMORFT GERMANIUM".  
Specialrapport af: Jørgen Wind Petersen og Jan Christensen.  
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 82/84 "MATEMATIK - OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTOMATISEREDE SAMFUND".  
Rapport fra et seminar afholdt i Hvidovre 25-27 april 1983.  
Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen og Mogens Niss.
- 83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY":  
PEACE RESEARCH SERIES NO. 1  
Af: Bent Sørensen  
nr. 83 er p.t. udgået
- 84/84 "NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANNELSE".  
Af: Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.
- 85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK".  
Specialrapport af: Per Hædegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.  
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE".  
PEACE RESEARCH SERIES NO. 2  
Af: Bent Sørensen.
- 87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS".  
Af: Jeppe C. Dyre.
- 88/84 "RISE, FALL AND RESURRECTION OF INFINITESIMALS".  
Af: Detlef Laugwitz.
- 89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING".  
Af: Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
- 90/84 "ENERGI I L.G - EN TEORI FOR TILRETTELÆGGELSE".  
Af: Albert Chr. Paulsen.
- 
- 91/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".  
1. Lærervejledning  
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.  
Vejleder: Torsten Meyer.
- 92/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".  
2. Materiale  
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.  
Vejleder: Torsten Meyer.
- 93/85 "THE SEMIOTICS OF QUANTUM - NON - LOCALITY".  
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 94/85 "TREENIGHEDEN BOURBAKI - generalen, matematikeren og ånden".  
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank M. Olsen.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 95/85 "AN ALTERNATIVE DEFENSE PLAN FOR WESTERN EUROPE".  
PEACE RESEARCH SERIES NO. 3  
Af: Bent Sørensen
- 96/85 "ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING".  
Af: Bjarne Lillethorup.  
Vejleder: Bent Sørensen.
- 97/85 "ON THE PHYSICS OF A.C. HOPPING CONDUCTIVITY".  
Af: Jeppe C. Dyre.
- 98/85 "VALGMULIGHEDER I INFORMATIONSDEREN".  
Af: Bent Sørensen.
- 99/85 "Der er langt fra Q til R".  
Projektrapport af: Niels Jørgensen og Mikael Klintorp.  
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 100/85 "TALSISTEMETS OPBYGNING".  
Af: Mogens Niss.
- 101/85 "EXTENDED MOMENTUM THEORY FOR WINDMILLS IN PERTURBATIVE FORM".  
Af: Ganesh Sengupta.
- 102/85 OPSTILLING OG ANALYSE AF MATEMATISKE MODELLER, BELYST VED MODELLER OVER KØRS FODEROPSTÆLSEL OG - OMSÆTNING".  
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Kirsten Habekost, Lill Ren og Susanne Stender.  
Vejleder: Klaus Grünbaum.

- 103/85 "ØDSLE KOLDKRIGERE OG VIDENSKABENS LYSE IDEER".  
Projekttraktat af: Niels Ole Dam og Kurt Jensen.  
Vejleder: Bent Sørensen.
- 104/85 "ANALOGREGNEMASKINEN OG LORENZLIGNINGER".  
Af: Jens Jøger.
- 105/85 "THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE SPECIFIC HEAT OF THE GLASS TRANSITION".  
Af: Tage Christensen.  
  
"A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY".  
Af: Jeppe C. Dyre.  
Contributions to the Third International Conference on the Structure of Non - Crystalline Materials held in Grenoble July 1985.
- 106/85 "QUANTUM THEORY OF EXTENDED PARTICLES".  
Af: Bent Sørensen.
- 107/85 "EN MYG GØR INGEN EPIDEMI".  
- flodblindhed som eksempel på matematisk modellering af et epidemiologisk problem.  
Projekttraktat af: Per Hedeqård Andersen, Lars Boye, Carsten Holst Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.  
Vejleder: Jesper Larsen.
- 108/85 "APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CURRICULUM" - state and trends -  
Af: Mogens Niss.
- 109/85 "COX I STUDIETIDEN" - Cox's regressionsmodel anvendt på studenteroplysninger fra RUC.  
Projekttraktat af: Mikael Wennerberg Johansen, Poul Katler og Torben J. Andreassen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 110/85 "PLANNING FOR SECURITY".  
Af: Bent Sørensen
- 111/85 "JORDEN RUNDT PÅ FLADE KORT".  
Projekttraktat af: Birgit Andresen, Beatriz Quinones og Jimmy Staal.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 112/85 "VIDENSKABELIGGØRELSE AF DANSK TEKNOLOGISK INNOVATION FRA 1950 - BELYST VED EKSEMPLER".  
Projekttraktat af: Erik Odgaard Gade, Hans Heddal, Frank C. Ludvigsen, Annette Post Nielsen og Finn Physant.  
Vejleder: Claus Bryld og Bent C. Jørgensen.
- 113/85 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS 11".  
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 114/85 "ANVENDELSE AF GRAFISKE METODER TIL ANALYSE AF KONFIGURATIONER".  
Projekttraktat af: Lone Billmann, Ole R. Jensen og Anne-Lise von Moos.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 115/85 "MATEMATIKKENS UDVIKLING OP TIL RENESSANCEN".  
Af: Mogens Niss.
- 116/85 "A PHENOMENOLOGICAL MODEL FOR THE MEYER-NELDEL RULE".  
Af: Jeppe C. Dyre.
- 117/85 "KRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING".  
Af: Jacob Mørch Pedersen.  
Vejleder: Bent Sørensen
- 118/85 "TILFÆLDIGHEDEN OG NØDVENDIGHEDEN IFØLGE PEIRCE OG FYSIKKEN".  
Af: Peder Voetmann Christiansen
- 120/86 "ET ANTAL STATISTISKE STANDARDMODELLER".  
Af: Jørgen Larsen
- 121/86 "SIMULATION I KONTINUERT TID".  
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 122/86 "ON THE MECHANISM OF GLASS IONIC CONDUCTIVITY".  
Af: Jeppe C. Dyre.
- 123/86 "GYMNASIEFYSIKKEN OG DEN STORE VERDEN".  
Fysiklærerforeningen, IMFUA, RUC.
- 124/86 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK".  
Samtlige opgaver stillet i tiden 1974-jan. 1986.
- 125/86 "UVBYG - systemet - en effektiv fotometrisk spektral-klassifikation af B-, A- og F-stjerner".  
Projekttraktat af: Birger Lundgren.
- 126/86 "OM UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI".  
Projekttraktat af: Lise Odgaard & Linda Szkotak Jensen.  
Vejledere: Karin Beyer & Stig Andur Pedersen.
- 127/86 "GALOIS' BIDRAG TIL UDVIKLINGEN AF DEN ABSTRAKTE ALGEBRA".  
Projekttraktat af: Pernille Sand, Heine Larsen & Lars Frandsen.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 128/86 "SMÅKRYB" - om ikke-standard analyse.  
Projekttraktat af: Niels Jørgensen & Mikael Klintorp.  
Vejleder: Jeppe Dyre.
- 129/86 "PHYSICS IN SOCIETY"  
Lecture Notes 1983 (1986)  
Af: Bent Sørensen
- 130/86 "Studies in Wind Power"  
Af: Bent Sørensen
- 131/86 "FYSIK OG SAMFUND" - Et integreret fysik/historie-projekt om naturanskuelsens historiske udvikling og dens samfundsmæssige betingethed.  
Projekttraktat af: Jakob Heckscher, Søren Brønd, Andy Wierød.  
Vejledere: Jens Højrup, Jørgen Vogeliuss, Jens Højgaard Jensen.
- 132/86 "FYSIK OG DANNEELSE"  
Projekttraktat af: Søren Brønd, Andy Wierød.  
Vejledere: Karin Beyer, Jørgen Vogeliuss.
- 133/86 "CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSING THE DATA. ENERGY SERIES NO. 15."  
Af: Bent Sørensen.
- 
- 134/87 "THE D.C. AND THE A.C. ELECTRICAL TRANSPORT IN AsSeTe SYSTEM".  
Authors: M.B.El-Den, N.B.Olsen, Ib Høst Pedersen, Petr Visčor
- 135/87 "INTUITIONISTISK MATEMATIKS METODER OG ERKENDELSESTEORETISKE FORUDSÆTNINGER"  
MATEMATIKSPECIALE: Claus Larsen  
Vejledere: Anton Jensen og Stig Andur Pedersen
- 136/87 "Mystisk og naturlig filosofi: En skitse af kristendommens første og andet møde med græsk filosofi"  
Projekttraktat af Frank Colding Ludvigsen  
Vejledere: Historie: Ib Thiersen  
Fysik: Jens Højgaard Jensen
- 137/87 "HOPMODELLER FOR ELEKTRISK LEDNING I UORDNEDE FASTE STOFFER" - Resume af licentiatafhandling  
Af: Jeppe Dyre  
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 119/86 "DET ER GANSKE VIST - - EUKLIDS FEMTE POSTULAT KUNNE NOK SKABE RØRE I ANDEDAMMEN".  
Af: Iben Maj Christiansen  
Vejleder: Mogens Niss.

138/87 "JOSEPHSON EFFECT AND CIRCLE MAP."  
Paper presented at The International  
Workshop on Teaching Nonlinear Phenomena  
at Universities and Schools, "Chaos in  
Education". Balaton, Hungary, 26 April-2 May 1987.

By: Peder Voetmann Christiansen

139/87 "Machbarkeit nichtbeherrschbarer Technik  
durch Fortschritte in der Erkennbarkeit  
der Natur"

Af: Bernhelm Booss-Bavnbek  
Martin Bohle-Carbonell

140/87 "ON THE TOPOLOGY OF SPACES OF HOLOMORPHIC MAPS"

By: Jens Gravesen

141/87 "RADIOMETERS UDVIKLING AF BLODGASAPPARATUR -  
ET TEKNOLOGIHISTORISK PROJEKT"

Projektrapport af Finn C. Physant  
Vejleder: Ib Thiersen

142/87 "The Calderón Projektor for Operators With  
Splitting Elliptic Symbols"

by: Bernhelm Booss-Bavnbek og  
Krzysztof P. Wojciechowski

143/87 "Kursusmateriale til Matematik på NAT-BAS"

af: Mogens Brun Heefelt

144/87 "Context and Non-Locality - A Peircean Approach"

Paper presented at the Symposium on the  
Foundations of Modern Physics The Copenhagen  
Interpretation 60 Years after the Como Lecture.  
Joensuu, Finland, 6 - 8 august 1987.

By: Peder Voetmann Christiansen

145/87 "AIMS AND SCOPE OF APPLICATIONS AND  
MODELLING IN MATHEMATICS CURRICULA"

Manuscript of a plenary lecture delivered at  
ICMTA 3, Kassel, FRG 8.-11.9.1987

By: Mogens Niss

146/87 "BESTEMMELSE AF BULKRESISTIVITETEN I SILICIUM"

- en ny frekvensbaseret målemetode.

Fysikspeciale af Jan Vedde

Vejledere: Niels Boye Olsen & Petr Višćor

147/87 "Rapport om BIS på NAT-BAS"

redigeret af: Mogens Brun Heefelt

148/87 "Naturvidenskabsundervisning med  
Samfundsperspektiv"

af: Peter Colding-Jørgensen DLH  
Albert Chr. Paulsen

149/87 "In-Situ Measurements of the density of amorphous  
germanium prepared in ultra high vacuum"

by: Petr Višćor

150/87 "Structure and the Existence of the first sharp  
diffraction peak in amorphous germanium  
prepared in UHV and measured in-situ"

by: Petr Višćor

151/87 "DYNAMISK PROGRAMMERING"

Matematikprojekt af:  
Birgit Andresen, Keld Nielsen og Jimmy Staal

Vejleder: Mogens Niss

152/87 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PROJECTIONS AND THE TOPOLOGY  
OF CERTAIN SPACES OF ELLIPTIC BOUNDARY VALUE  
PROBLEMS"

by: Bernhelm Booss-Bavnbek  
Krzysztof P. Wojciechowski

153/88 "HALVLEDERTEKNOLOGIENS UDVIKLING MELLEM MILITÆRE  
OG CIVILE KRÆFTER"

Et eksempel på humanistisk teknologihistorie  
Historiespeciale

Af: Hans Hedal

Vejleder: Ib Thiersen

154/88 "MASTER EQUATION APPROACH TO VISCOUS LIQUIDS AND  
THE GLASS TRANSITION"

By: Jeppe Dyre

155/88 "A NOTE ON THE ACTION OF THE POISSON SOLUTION  
OPERATOR TO THE DIRICHLET PROBLEM FOR A FORMALLY  
SELFADJOINT DIFFERENTIAL OPERATOR"

by: Michael Pedersen

156/88 "THE RANDOM FREE ENERGY BARRIER MODEL FOR AC  
CONDUCTION IN DISORDERED SOLIDS"

by: Jeppe C. Dyre

157/88 "STABILIZATION OF PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS  
BY FINITE DIMENSIONAL BOUNDARY FEEDBACK CONTROL:  
A pseudo-differential approach."

by: Michael Pedersen

158/88 "UNIFIED FORMALISM FOR EXCESS CURRENT NOISE IN  
RANDOM WALK MODELS"

by: Jeppe Dyre

159/88 "STUDIES IN SOLAR ENERGY"

by: Bent Sørensen

160/88 "LOOP GROUPS AND INSTANTONS IN DIMENSION TWO"

by: Jens Gravesen

161/88 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PERTURBATIONS AND STABILIZATION  
OF DISTRIBUTED PARAMETER SYSTEMS:

Dirichlet feedback control problems"

by: Michael Pedersen

162/88 "FISER & FYSIK - OG MEGET MERE"

Af: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen,  
Jette Reich, Mette Vedelsby

163/88 "EN MATEMATISK MODEL TIL BESTEMMELSE AF  
PERMEABILITETEN FOR BLOD-NETHINDE-BARRIEREN"

Af: Finn Langberg, Michael Jarden, Lars Frellesen  
Vejleder: Jesper Larsen

164/88 "Vurdering af matematisk teknologi  
Technology Assessment  
Technikfolgenabschätzung"

Af: Bernhelm Booss-Bavnbek, Glen Pate med  
Martin Bohle-Carbonell og Jens Højgaard Jensen

165/88 "COMPLEX STRUCTURES IN THE NASH-MOSER CATEGORY"

by: Jens Gravesen

166/88 "Grundbegreber i Sandsynlighedsregningen"

Af: Jørgen Larsen

167a/88 "BASISSTATISTIK 1. Diskrete modeller"

Af: Jørgen Larsen

167b/88 "BASISSTATISTIK 2. Kontinuerte modeller"

Af: Jørgen Larsen

168/88 "OVERFLADEN AF PLANETEN MARS"

Laboratorie-simulering og MARS-analoger undersøgt ved Mössbauerspektroskopi.

Fysikspeciale af:

Birger Lundgren

Vejleder: Jens Martin Knudsen  
Fys.Lab./HCØ

169/88 "CHARLES S. PEIRCE: MURSTEN OG MØRTEL TIL EN METAFYSIK."

Fem artikler fra tidsskriftet "The Monist" 1891-93.

Introduktion og oversættelse:

Peder Voetmann Christiansen

170/88 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK"

Samtlige opgaver stillet i tiden  
1974 - juni 1988

171/88 "The Dirac Equation with Light-Cone Data"

af: Johnny Tom Ottesen

172/88 "FYSIK OG VIRKELIGHED"

Kvantemekanikkens grundlagsproblem i gymnasiet.

Fysikprojekt af:

Erik Lund og Kurt Jensen

Vejledere: Albert Chr. Paulsen og  
Peder Voetmann Christiansen

178/89 "BIOSYNTESSEN AF PENICILLIN - en matematisk model"

af: Ulla Eghave Rasmussen, Hans Oxvang Mortensen,  
Michael Jarden

vejleder i matematik: Jesper Larsen  
biologi: Erling Lauridsen

179a/89 "LÆRERVEJLEDNING M.M. til et eksperimentelt forløb om kaos"

af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal

Vejledere: Peder Voetmann Christiansen  
Karin Beyer

179b/89 "ELEVHEFTE: Noter til et eksperimentelt kursus om kaos"

af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal

Vejledere: Peder Voetmann Christiansen  
Karin Beyer

180/89 "KAOS I FYSISKE SYSTEMER eksemplificeret ved torsions- og dobbeltpendul".

af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen

181/89 "A ZERO-PARAMETER CONSTITUTIVE RELATION FOR PURE SHEAR VISCOELASTICITY"

by: Jeppe Dyre

183/89 "MATHEMATICAL PROBLEM SOLVING, MODELLING. APPLICATIONS AND LINKS TO OTHER SUBJECTS - State, trends and issues in mathematics instruction

by: WERNER BLUM, Kassel (FRG) og  
MOGENS NISS, Roskilde (Denmark)

184/89 "En metode til bestemmelse af den frekvensafhængige varmekapacitet af en underafkølet væske ved glasovergangen

af: Tage Emil Christensen

185/90 "EN NÆSTEN PERIODISK HISTORIE"

Et matematisk projekt

af: Steen Grode og Thomas Jessen

Vejleder: Jacob Jacobsen

186/90 "RITUAL OG RATIONALITET i videnskabers udvikling" redigeret af Arne Jakobsen og Stig Andur Pedersen

187/90 "RSA - et kryptografisk system"

af: Annemette Sofie Olufsen, Lars Frellesen  
og Ole Møller Nielsen

Vejledere: Michael Pedersen og Finn Munk

188/90 "FERMICONDENSATION - AN ALMOST IDEAL GLASS TRANSITION" by: Jeppe Dyre

189/90 "DATAMATER I MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ GYMNASIET OG HØJERE LÆREANSTALTER

af: Finn Langberg

173/89 "NUMERISKE ALGORITMER"

af: Mogens Brun Heefelt

174/89 "GRAFISK FREMSTILLING AF FRAKTALER OG KAOS"

af: Peder Voetmann Christiansen

175/89 "AN ELEMENTARY ANALYSIS OF THE TIME DEPENDENT SPECTRUM OF THE NON-STATONARY SOLUTION TO THE OPERATOR RICCATI EQUATION" af: Michael Pedersen

176/89 "A MAXIMUM ENTROPY ANSATZ FOR NONLINEAR RESPONSE THEORY"

af: Jeppe Dyre

177/89 "HVAD SKAL ADAM STÅ MODEL TIL"

af: Morten Andersen, Ulla Engström,  
Thomas Gravesen, Nanna Lund, Pia  
Madsen, Dina Rawat, Peter Torstensen  
Vejleder: Mogens Brun Heefelt

- 190/90 "FIVE REQUIREMENTS FOR AN APPROXIMATE NONLINEAR RESPONSE THEORY"  
by: Jeppe Dyre
- 191/90 "MOORE COHOMOLOGY, PRINCIPAL BUNDLES AND ACTIONS OF GROUPS ON C\*-ALGEBRAS"  
by: Iain Raeburn and Dana P. Williams
- 192/90 "Age-dependent host mortality in the dynamics of endemic infectious diseases and SIR-models of the epidemiology and natural selection of co-circulating influenza virus with partial cross-immunity"  
by: Viggo Andreassen
- 193/90 "Causal and Diagnostic Reasoning"  
by: Stig Andur Pedersen
- 194a/90 "DETERMINISTISK KAOS"  
Projektrapport af : Frank Olsen
- 194b/90 "DETERMINISTISK KAOS"  
Kørselsrapport  
Projektrapport af: Frank Olsen
- 195/90 "STADIER PÅ PARADIGMETS VEJ"  
Et projekt om den videnskabelige udvikling der førte til dannelse af kvantemekanikken.  
Projektrapport for 1. modul på fysikuddannelsen, skrevet af:  
Anja Boisen, Thomas Hougård, Anders Gorm Larsen, Nicolai Ryge.  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 196/90 "ER KAOS NØDVENDIGT?"  
- en projektrapport om kaos' paradigmatiske status i fysikken.  
af: Johannes K. Nielsen, Jimmy Staal og Peter Bøggild  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 197/90 "Kontrafaktiske konditionaler i HOL"  
af: Jesper Voetmann, Hans Oxvang Mortensen og Aleksander Høst-Madsen  
Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 198/90 "Metal-Isolator-Metal systemer"  
Speciale  
af: Frank Olsen
- 199/90 "SPREDT FÆGTNING" Artikelsamling  
af: Jens Højgaard Jensen
- 200/90 "LINEÆR ALGEBRA OG ANALYSE"  
Noter til den naturvidenskabelige basisuddannelse.  
af: Mogens Niss
- 201/90 "Undersøgelse af atomare korrelationer i amorfe stoffer ved røntgendiffraktion"  
af: Karen Birkelund og Klaus Dahl Jensen  
Vejledere: Petr Višcor, Ole Bakander
- 202/90 "TEGN OG KVANTER"  
Foredrag og artikler, 1971-90.  
af: Peder Voetmann Christiansen
- 203/90 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK" 1974-1990  
afleser tekst 170/88
- 204/91 "ERKENDELSE OG KVANTEMEKANIK"  
et Breddemodul Fysik Projekt  
af: Thomas Jessen  
Vejleder: Petr Višcor
- 205/91 "PEIRCE'S LOGIC OF VAGUENESS"  
by: Claudine Engel-Tiercelin  
Department of Philosophy  
Université de Paris-1  
(Panthéon-Sorbonne)
- 206a+b/91 "GERMANIUMBEAMANALYSE SAMT A - GE TYNDFILMS ELEKTRISKE EGENSKABER"  
Eksperimentelt Fysikspeciale  
af: Jeanne Linda Mortensen og Annette Post Nielsen  
Vejleder: Petr Višcor
- 207/91 "SOME REMARKS ON AC CONDUCTION IN DISORDERED SOLIDS"  
by: Jeppe C. Dyre
- 208/91 "LANGEVIN MODELS FOR SHEAR STRESS FLUCTUATIONS IN FLOWS OF VISCO-ELASTIC LIQUIDS"  
by: Jeppe C. Dyre
- 209/91 "LORENZ GUIDE" Kompendium til den danske fysiker Ludvig Lorenz. 1829-91.  
af: Helge Kragh
- 210/91 "Global Dimension, Tower of Algebras, and Jones Index of Split Separable Subalgebras with Unitality Condition."  
by: Lars Kadison
- 211/91 "I SANDHEDENS TJENESTE"  
- historien bag teorier for de komplekse tal.  
af: Lise Arleth, Charlotte Spennild, Jane Hansen, Linda Kyndler, Anne Charlotte Nilsson, Karina Tufvén.  
Vejledere: Jesper Larsen og Bernhard Bøss-Boonbek
- 212/91 "Cyclic Homology of Triangular Matrix Algebras"  
by: Lars Kadison
- 213/91 "Disease-induced natural selection in a diploid host"  
by: Viggo Andreassen and Freddy B. Christiansen

- 214/91 "Hølløj i æteren" - om elektromagnetisme. Oplæg til undervisningsmateriale i gymnasiet.  
Af: Nils Kruse, Peter Gastrup, Kristian Hoppe, Jeppe Guldager  
Vejledere: Petr Viscor, Hans Hedal
- 215/91 "Physics and Technology of Metal-Insulator-Metal thin film structures used as planar electron emitters"  
by: A. Delong, M. Drsticka, K. Hladil, V. Kolarik, F. Olsen, P. Pavelka and Petr Viscor.
- 216/91 "Kvantemekanik på PC'eren"  
af: Thomas Jessen
- 
- 217/92 "Two papers on APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CURRICULUM"  
by: Mogens Niss
- 218/92 "A Three-Square Theorem"  
by: Lars Kadison
- 219/92 "RUPNOK - stationær strømning i elastiske rør"  
af: Anja Boisen, Karen Birkelund, Mette Olufsen  
Vejleder: Jesper Larsen
- 220/92 "Automatisk diagnosticering i digitale kredsløb"  
af: Bjørn Christensen, Ole Møller Nielsen  
Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 221/92 "A BUNDLE VALUED RADON TRANSFORM, WITH APPLICATIONS TO INVARIANT WAVE EQUATIONS"  
by: Thomas P. Branson, Gestur Olafsson and Henrik Schlichtkrull
- 222/92 On the Representations of some Infinite Dimensional Groups and Algebras Related to Quantum Physics  
by: Johnny T. Ottesen
- 223/92 THE FUNCTIONAL DETERMINANT  
by: Thomas P. Branson
- 224/92 UNIVERSAL AC CONDUCTIVITY OF NON-METALLIC SOLIDS AT LOW TEMPERATURES  
by: Jeppe C. Dyre
- 225/92 "RATMODELLEN" Impedansspektroskopi i ultrarødt en-krySTALLINSK silicium  
af: Anja Boisen, Anders Gorm Larsen, Jesper Varmer, Johannee K. Nielsen, Kit E. Hansen, Peter Beggild og Thomas Hougaard  
Vejleder: Petr Viscor
- 226/92 "METHODS AND MODELS FOR ESTIMATING THE GLOBAL CIRCULATION OF SELECTED EMISSIONS FROM ENERGY CONVERSION"  
by: Bent Sørensen
- 227/92 "Computersimulering og fysik"  
af: Per M. Hansen, Steffen Holm, Peter Maibom, Mads K. Dall Petersen, Pernille Postgaard, Thomas B. Schrøder, Ivar P. Zeck  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 228/92 "Teknologi og historie"  
Fire artikler af:  
Mogens Niss, Jens Høyrup, Ib Thiersen, Hans Hedal
- 229/92 "Masser af information uden betydning"  
En diskussion af informationsteorien i Tor Nørretranders' "Mærk Verden" og en skitse til et alternativ baseret på andenordens kybernetik og semiotik.  
af: Søren Brier
- 230/92 "Vinklens tredeling - et klassisk problem"  
et matematisk projekt af  
Karen Birkelund, Bjørn Christensen  
Vejleder: Johnny Ottesen
- 231A/92 "Elektrondiffusion i silicium - en matematisk model"  
af: Jesper Voetmann, Karen Birkelund, Mette Olufsen, Ole Møller Nielsen  
Vejledere: Johnny Ottesen, H.B. Hansen
- 231B/92 "Elektrondiffusion i silicium - en matematisk model" Kildetekster  
af: Jesper Voetmann, Karen Birkelund, Mette Olufsen, Ole Møller Nielsen  
Vejledere: Johnny Ottesen, H.B. Hansen
- 232/92 "Undersøgelse om den simultane opdagelse af energiens bevarelse og isærdeles om de af Mayer, Colding, Joule og Helmholtz udførte arbejder"  
af: L. Arleth, G.I. Dybkjær, M.T. Østergård  
Vejleder: Dorthe Posselt
- 233/92 "The effect of age-dependent host mortality on the dynamics of an endemic disease and Instability in an SIR-model with age-dependent susceptibility"  
by: Viggo Andreasen
- 234/92 "THE FUNCTIONAL DETERMINANT OF A FOUR-DIMENSIONAL BOUNDARY VALUE PROBLEM"  
by: Thomas P. Branson and Peter B. Gilkey
- 235/92 OVERFLADESTRUKTUR OG POREUDVIKLING AF KOKS - Modul 3 fysik projekt -  
af: Thomas Jessen
-

236a/93 INTRODUKTION TIL KVANTE  
HALL EFFEKTEN

af: Anja Boisen, Peter Bøggild

Vejleder: Peder Voetmann Christiansen  
Erland Brun Hansen

236b/93 STRØMSSAMMENBRUD AF KVANTE  
HALL EFFEKTEN

af: Anja Boisen, Peter Bøggild

Vejleder: Peder Voetmann Christiansen  
Erland Brun Hansen

237/93 The Wedderburn principal theorem and  
Shukla cohomology

af: Lars Kadison

238/93 SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (2)

Vektorbånd og tensorer

af: Peder Voetmann Christiansen

239/93 Valgsystemer - Modelbygning og analyse  
Matematik 2. modul

af: Charlotte Gjerrild, Jane Hansen,  
Maria Hermannsson, Allan Jørgensen,  
Ragna Clauson-Kaas, Poul Lützen

Vejleder: Mogens Niss

240/93 Patologiske eksempler.  
Om særlige matematiske fænomens betydning for  
den matematiske udvikling

af: Claus Drøby, Jørn Skov Hansen, Runa  
Ulsøe Johansen, Peter Meibom, Johannes  
Kristoffer Nielsen

Vejleder: Mogens Niss